

# Ingeniería Mecatrónica Aplicada

Ramos Arreguín J.M., Vargas Soto J.E. y Gorrostieta Hurtado E.



# **Ingeniería Mecatrónica Aplicada**

1ª Edición

**Ramos Arreguín J.M.  
Vargas Soto J. E.  
y Gorrostieta Hurtado E.**

**“Ingeniería Mecatrónica Aplicada”**

Ramos Arreguín Juan Manuel  
Vargas Soto José Emilio  
Gorrostieta Hurtado Efrén

© Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.  
Prolongación Corregidora Norte No. 168, interior E  
Col. El Cerrito, C.P. 76160, Querétaro, Qro.  
México.

Internet: <http://www.mecamex.net>

1ª Edición, 21 de Septiembre, 2020.

**ISBN: 978-607-9394-21-9**

**Derechos reservados.**

Esta obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos a la editorial. Las opiniones y la información que se muestran en los capítulos del libro son exclusivas de los autores de cada capítulo y no representan la postura de la Asociación Mexicana Mecatrónica A.C. Prohibida su reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización por escrito del propietario de los derechos del copyright.

Impreso en México – Printed in Mexico



## Índice

### Capítulo 1

Control y Monitoreo de un Interruptor Basado en IoT  
y la Nube para Aplicaciones de Edificios Inteligentes

1

García Vázquez Fabián, Guerrero Osuna Héctor Alonso,  
Ornelas Vargas Gerardo, Solís Sánchez Luis Octavio  
y Castañeda Miranda Celina Lizeth.

### Capítulo 2

16

Desarrollo de una Máquina Expendedora  
Automática de Componentes Electrónicos

Alejandro-Flores Marisol, Soto-Hernández Bruce,  
Sánchez-Nájera Jesús Claudio y Zamacona-Sánchez Daniel.

### Capítulo 3

27

Interfaz de Identificación y Seguimiento de Personas  
para el Humanoide Bioloid Usando Kinect

Charre Ibarra Saida Miriam, Flores Santos Fernando, Alcalá Rodríguez Janeth  
Aurelia, Gudiño Lau Jorge y Duran Fonseca Miguel Ángel.

### Capítulo 4

41

Sistema Electrónico para Monitorear la  
Rehabilitación del Síndrome de Hombro Doloroso

Díaz Hernández Octavio, Ruíz García Esteban  
y Popoca Plutarco Carlos Orlando.

### Capítulo 5

71

Sistema de Seguridad para Acceso a Instalaciones Basado  
en Microcontroladores

Ramírez Arriaga Karen Andrea, ✉ Ramos Arreguín Juan Manuel,  
Tovar Arriaga Saúl, Pedraza Ortega Jesús Carlos  
y Gorrostieta Hurtado Efrén.



# Control y Monitoreo de un Interruptor Basado en IoT y la Nube para Aplicaciones de Edificios Inteligentes

✉García Vázquez Fabián<sup>1</sup>, Guerrero Osuna Héctor Alonso<sup>1</sup>, Ornelas Vargas Gerardo<sup>1</sup>, Solís Sánchez Luis Octavio<sup>1</sup> y Castañeda Miranda Celina Lizeth<sup>1</sup>

Posgrado en Ingeniería y Tecnología Aplicada

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas

Jardín Juárez #147, Centro Histórico C.P. 98000 Zacatecas, Zacatecas, México

✉fabiann\_gv@hotmail.com

## Resumen

*La preocupación actual por el medio ambiente ha impulsado el desarrollo de sistemas basados en las nuevas tecnologías que ayuden a reducir la huella de carbono en el planeta, con el objetivo de ofrecer una mejor administración de los recursos. Disminuir el consumo de los principales servicios domésticos como energía eléctrica, aguas y gas L.P en un edificio o vivienda se ha convertido en una de las principales motivaciones de la industria 4.0, la cual se utiliza para generar alternativas basada en sistemas domóticos que contribuyan a una gestión adecuada de estos servicios. Por esta razón, en este trabajo, se describe el diseño, desarrollo e implementación de un sistema basado en el internet de las cosas y una plataforma en la nube que permite al usuario controlar y monitorear las luces de un edificio remotamente a través de un teléfono móvil que cuente con sistema operativo Android, con el objetivo de proporcionar al usuario una gestión de datos de consumo de energía eléctrica que proveen las luces del edificio.*

**Palabras clave:** Domótica, Internet de las cosas (IoT), computación en la nube, Industria 4.0, Inteligencia Artificial.

## 1. Introducción

La domótica es el proceso de automatización de diversos electrodomésticos, consiste en la capacidad de programar eventos para los dispositivos conectados a una red local o Internet a través de programas relacionados con el tiempo o activados por estímulos [1]. Con el surgimiento de nueva revolución industrial llamada industria 4.0 surge la necesidad de aplicar las nuevas tecnologías a la domótica. El despliegue y uso de la industria 4.0 permite obtener una mejor calidad en los sistemas de automatización, además de realizar predicciones de consumo en los principales servicios de un edificio como energía eléctrica, agua y gas [2].

La industria 4.0 simboliza el comienzo de la cuarta revolución industrial que representa la tendencia actual de las tecnologías de automatización en la industria, e incluye principalmente tecnologías habilitadoras como los sistemas ciberfísicos (CPS), Internet de las cosas (IoT) y la computación en la nube (Cloud Computing), integrando el espacio virtual con el mundo físico. Los desarrollos y los avances tecnológicos en la Industria 4.0 proporcionan una variedad viable de soluciones a las crecientes necesidades de información en las industrias. Esta viabilidad ha sido evidenciada por el hecho de que un número creciente de empresas en todo el mundo han explorado los beneficios de digitalizar las cadenas horizontales y verticales de los mercados [3] [4].

El uso del IoT en la domótica, permite automatizar los diversos electrodomésticos dentro de una casa o edificio como la calefacción, iluminación, ventilación, control del clima, así como otros dispositivos de sistemas integrados que se pueden conectar a Internet [5]. Con la evolución de los



teléfonos inteligentes y el desarrollo de diversas tecnologías de comunicación como Wi-Fi, Bluetooth y ZigBee, hemos podido conectarnos a nuestra red doméstica mientras estamos fuera, controlando y supervisando estos dispositivos [6]. Conforme ha ido aumentando el número de dispositivos conectados al IoT, se ha elevado abrumadoramente el volumen de datos que circulan a través de Internet; para evitar que los sistemas colapsen dada esta gran cantidad de datos, se implementa una arquitectura IoT en varias capas, que hace que los datos se vuelvan más estructurados y legibles, además, se agregan las tecnologías de Big Data y las aplicaciones en la nube para proporcionar herramientas de procesamiento, administración y almacenamiento [7].

La computación en la nube tiene capacidades prácticamente ilimitadas en términos de almacenamiento y potencia de procesamiento, es una tecnología mucho más madura y tiene la mayoría de los problemas de IoT resueltos. Las bases de datos en la nube hacen posible que los usuarios puedan comunicarse virtualmente con un eje central, comúnmente llamados puertas de enlace que son sistemas con una interfaz gráfica de usuario que interactúa con los dispositivos móviles y con los servicios en la nube, permitiendo la comunicación con los dispositivos domésticos desde cualquier lugar y momento siempre que se cuente con una conexión a Internet. En los últimos años, la computación en la nube ha brindado abundantes oportunidades para las empresas al proporcionar una amplia gama de servicios informáticos, es utilizada para satisfacer la demanda de latencia, confiabilidad, seguridad y eficiencia de los datos. También supera los problemas de instalación de software en el lado del usuario, lo que hace que las aplicaciones empresariales sean móviles, colaborativas y rentables [8] [9].

La forma de emplear inteligencia en plataformas digitales generó lo que hoy se le conoce como edificios inteligentes, inmuebles equipados con diferentes dispositivos para hacer que el control y monitoreo de datos sea más consciente e interactivo. Disponer de este flujo de datos en tiempo real a través de sistemas de telemetría, permite minimizar el desperdicio de energía eléctrica, agua y gas al controlar de manera inteligente los electrodomésticos vinculados con estos servicios. La idea general es recopilar una gran cantidad de datos obtenidos por los dispositivos domésticos, para aplicar análisis, procesamiento, algoritmos de inteligencia artificial y ejecutar acciones con las cuales los dispositivos puedan actuar de manera totalmente autónoma [10].

En este artículo, se propone un sistema domótico basado en IoT y una plataforma en la nube, con la finalidad de controlar y monitorear las luces de un edificio remotamente por medio de una interfaz gráfica de usuario. Se plantea utilizar un interruptor inalámbrico Wi-Fi que se conecta a una red local dentro de una vivienda, de este modo, es posible enviar información del dispositivo a una base de datos en la nube. El usuario puede cambiar el estado del interruptor ya sea a través de la interfaz gráfica o manualmente como en un interruptor eléctrico convencional, además de programar eventos para cambiar dichos estados en una fecha y hora determinados.

Con base en la información anterior, se encontró que, para realizar un control y monitoreo óptimo de las luces de un edificio remotamente, es necesario que el sistema cuente con los siguientes requerimientos:

- Interruptor inalámbrico: Dado que el sistema está basado en IoT, el intercambio de información se realiza a través de la red local, por lo que es necesario que siempre exista una conexión activa del interruptor inalámbrico a internet, para que el usuario pueda encender o apagar las luces del edificio. En el caso de que no se establezca una conexión con la red, el sistema puede funcionar manualmente, como en cualquier interruptor eléctrico.
- Plataforma en la nube: Los datos obtenidos del interruptor y de la interfaz gráfica deben almacenarse en la nube. Además, es necesario implementar una autenticación de usuarios con la finalidad de llevar una administración de los interruptores registrados en cada cuenta de usuario.
- Interfaz gráfica de usuario: La Interfaz gráfica debe estar sincronizada con la base de datos en la nube, de esta manera el usuario puede interactuar cómodamente con el control y monitoreo



de las luces, desde cualquier lugar y momento siempre que se cuente con una conexión a internet.

El documento está organizado de la siguiente manera, la segunda sección “Trabajos Relacionados” habla de los trabajos que influyeron en el desarrollo de este proyecto. La tercera sección “Materiales y Métodos” describe el desarrollo del sistema, su instalación y las pruebas de funcionamiento en una vivienda. La cuarta sección “Resultados”, muestra los resultados obtenidos del desarrollo e implementación del sistema. Por último, la quinta sección “Conclusiones”, se reflexiona sobre la implementación del sistema, así como la posibilidad de trabajos futuros.

## 2. Trabajos relacionados

En esta sección, se presentan algunos de los trabajos que se han implementado para el desarrollo de sistemas monitoreados y controlados por medio de una interfaz gráfica para edificios inteligentes, los cuales fueron influencia para el desarrollo de nuestro trabajo.

J. D. Quintero P. [11] desarrollaron un control y monitoreo remoto de un sistema de luces en una vivienda a través de un teléfono móvil con sistema Android. El sistema cuenta con una tarjeta ARM mini2440, la cual, utiliza un circuito de potencia para el acople de los elementos de la red eléctrica. La interfaz de aplicación está programada en el lenguaje HTML5 y cuenta con una base de datos SQLite3. En la aplicación móvil, se muestra el nombre del lugar donde se encuentra la luz, además del tiempo que lleva encendido, también proporciona la opción de introducir la potencia de cada foco, dando la posibilidad de conocer el valor en pesos por la energía consumida.

H. V. Bhatnagar. [12] proponen el diseño de un sistema de automatización en el hogar. El sistema puede controlarse utilizando una aplicación Android o el asistente de Google. El proyecto utiliza Node MCU ESP8266-12E como controlador y también como módulo para la comunicación inalámbrica. Se utilizan sensores de humedad y temperatura para leer entornos en la casa y mantenerla vigilada. La plataforma en la nube utilizada es Firebase de Google en la cual se mantiene un registro de las lecturas de los diferentes sensores.

A. Rahmi. [13] presentan un sistema de automatización médico monitoreado desde una aplicación Android y una aplicación web para facilitar la necesidad de los pacientes y médicos en la recolección de datos. La aplicación diseñada usa MySQL como principal almacenamiento de datos. La plataforma en la nube utilizada es Firebase, y con esta se utilizan algunos servicios que la plataforma brinda como, Storage que se utiliza para guardar datos adicionales, como archivos médicos o fotos, también se utiliza Firebase Real-Time Database para manejar datos de chat y Firebase Notification para crear notificaciones.

H. Singh. [5] describen un prototipo que controla electrodomésticos como luces o ventiladores por medio de relevadores eléctricos, además registran el consumo energético y el nivel de un cilindro de gas utilizando sensores de temperatura y un módulo LDR. Como controladores utilizan el Node MCU ESP8266 y Arduino uno. Los datos de los sensores y los estados de los relevadores son procesados por los microcontroladores y se envían a una base de datos que está conectada con un servidor local. Los datos proporcionan información sobre la energía que se consume en el edificio y se le presenta al usuario el costo de la energía utilizada.

Estos proyectos contienen desarrollos que hacen posible la integración de inteligencia en los edificios, desde los sistemas utilizados principalmente para el control y monitoreo de electrodomésticos, hasta el sistema de automatización utilizado para almacenar y recopilar información en una base de datos. Cada uno de ellos utiliza plataformas que funcionan como servidores para que sea posible la conexión remota entre los usuarios y los dispositivos. La plataforma Firebase, es muy utilizada ya que cuenta con funciones que permiten sincronizar una base de datos en tiempo real con aplicaciones móviles y con microcontroladores. El ESP8266 funciona como un

controlador y módulo de conexión inalámbrica Wi-Fi, se utiliza para enviar y recibir datos de la red local del edificio o para el control de electrodomésticos y dispositivos domóticos.

### 3. Materiales y métodos

#### 3.1 Desarrollo del sistema

El sistema propuesto está conformado por un interruptor inalámbrico Wi-Fi, la plataforma en la nube de Firebase, y una aplicación Android. El interruptor se instala a la red eléctrica de un edificio, este se conecta utilizando la tecnología inalámbrica Wi-Fi al Router del edificio, de este modo, el interruptor establece una conexión a internet, y con la base de datos en la nube de Firebase. La aplicación Android esta sincronizada con la base de datos, proporcionando un control y monitoreo de las luces de la casa. En caso de que el interruptor no establezca la conexión a internet, se puede encender o apagar la luz de forma manual por medio de un pulsador. En la figura 1, se proporciona el marco general del sistema propuesto.

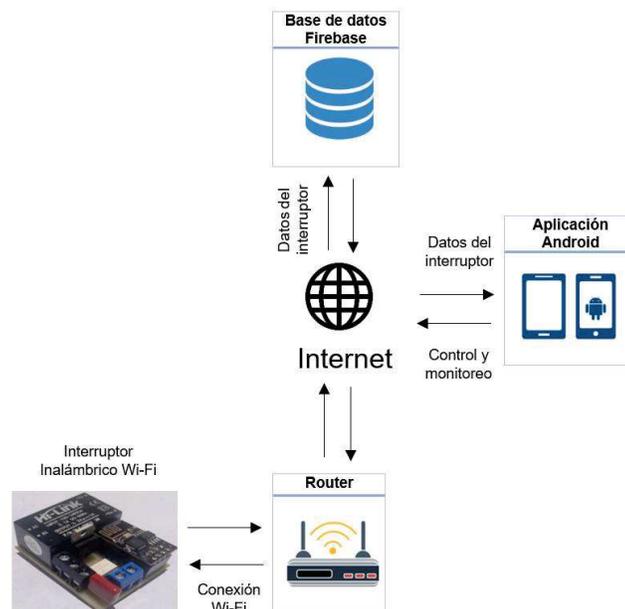


Figura 1. Marco general del sistema propuesto.

#### 3.2 Interruptor inalámbrico Wi-Fi

El circuito del interruptor inalámbrico requiere elementos que están conectados a la red eléctrica monofásica, por lo tanto, es necesario diseñar un circuito electrónico que funcione como un interruptor aislado, es decir, que permita una conexión eléctricamente aislada entre dos circuitos, en este caso es un circuito de control y un circuito de potencia. Existen diferentes propuestas para realizar circuitos aislados, por ejemplo, los relevadores y optoacopladores. Para este proyecto, se diseñó un circuito con un optoacoplador con la etapa de salida de un fototriac, ya que presenta varias ventajas notables respecto a los tradicionales relés y contactores electromecánicos: son más rápidos, silenciosos, livianos y confiables, no se desgastan, son inmunes a los choques y a las vibraciones, pueden conmutar altas corrientes y altos voltajes sin producir arcos ni ionizar el aire circundante, generan muy poca interferencia.



### 3.2.1 Diseño del circuito de acople

El modelo del optoacoplador utilizado es el MOC3010 que está compuesto por dos partes, en la primera un LED que emite luz dentro del optoacoplador, y en la segunda, un TRIAC fotosensible que permite el paso de la corriente al recibir la luz del LED. Generalmente, los optoacopladores se utilizan con otros componentes eléctricos debido a que no tienen capacidad para disipar grandes potencias, por esta razón, se agrega una interfaz de potencia que utiliza el TRIAC BTA16 600B, capaz de manejar cargas del orden de 16 A a 600V. La figura 2 muestra el diagrama esquemático para el MOC3010 con sus respectivos componentes eléctricos.

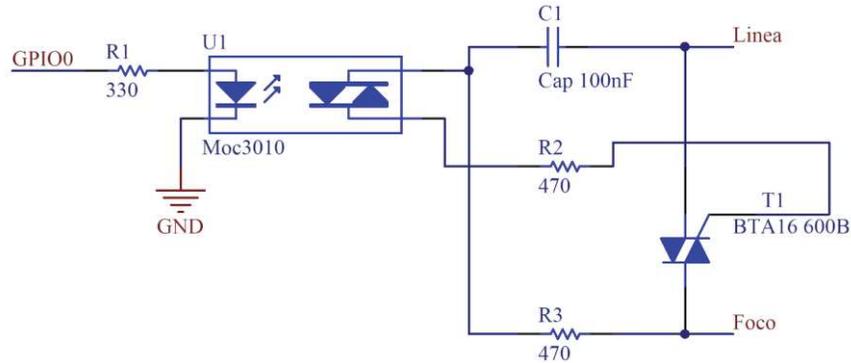


Figura 2. Diagrama esquemático del MOC3010.

El microcontrolador seleccionado es el chip ESP8266-01, que también funciona como módulo Wi-Fi para redes de 2.4 GHz. El voltaje de entrada del módulo es de 3.3 V, con 8 pines: TXD, RXD, 2 pines GPIO, RST, VCC y GND. El GPIO 2, se utiliza como señal de entrada, en el cual está conectado un pulsador y el GPIO 0, se utiliza como señal de salida al optoacoplador.

El interruptor inalámbrico está diseñado para instalarse en la red eléctrica de 120VAC, de modo que, es indispensable reducir ese voltaje a 3.3 VDC para alimentar el ESP8266. En el diseño del circuito se utilizó una fuente de alimentación HLK-PM03, que se encarga de reducir y convertir el voltaje de 120 VAC a 3.3 VDC. En las figuras 3 y 4, se puede apreciar la interconexión de periféricos, el diseño y la placa de circuito impreso resultante para el interruptor inalámbrico.

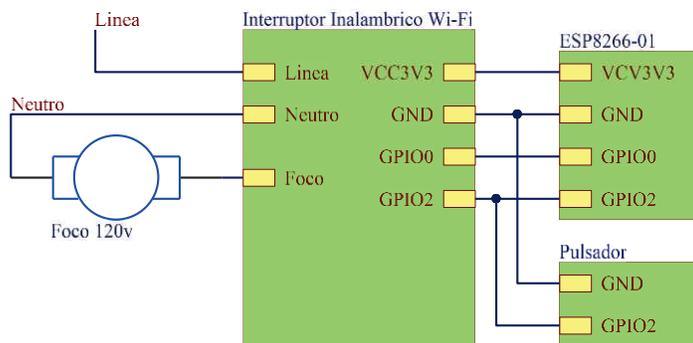
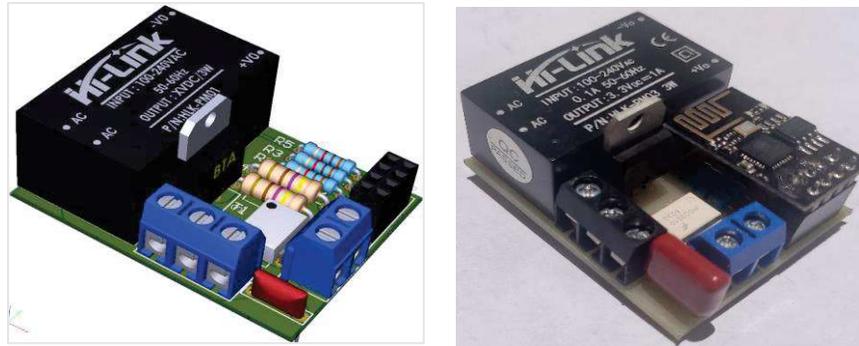


Figura 3. Interconexión de la red eléctrica y periféricos en el interruptor inalámbrico Wi-Fi.



**Figura 4. Diseño (izquierda) y resultado (derecha) de la placa PCB para el interruptor inalámbrico Wi-Fi.**  
**3.2.2 Configuración de red del interruptor inalámbrico**

Los parámetros de una red Wi-Fi (Nombre de la red SSID y contraseña) se puede codificar en un programa embebido en la memoria del ESP8266, pero esto funciona como una solución particular, en el cual, pueden existir diversas dificultades para el usuario, por ejemplo, en caso de que se cambie las credenciales de red, o si se desea cambiar el interruptor a otro sitio donde existe una red diferente, sería indispensable modificar el código, editando los parámetros SSID y la contraseña. Si no se realiza la modificación, eventualmente existirá un error al momento de establecer una conexión con la red Wi-Fi. A partir de esta problemática, surgió la necesidad de crear un sistema de conectividad que funcione de manera general para cualquier red Wi-Fi, por lo tanto, se realizó un programa capaz de configurar las credenciales de red desde cualquier celular o computadora, sin tener que reescribir el código embebido en el chip.

El procedimiento para enviar los parámetros es similar al se utiliza cuando se realiza una conexión a una red Wi-Fi de cualquier dispositivo. Cabe mencionar que el ESP8266 guarda las credenciales de Wi-Fi en la memoria flash, por esta razón, el programa inicia con el módulo en modo estación e intenta conectarse a una red existente, en caso de que no existan las credenciales correspondientes, el módulo crea su propio access point, activando un servidor de DNS y un servidor web. A través de un portal cautivo, aparece una ventana emergente que permite enviar un formulario con el SSID y contraseña. Con los nuevos parámetros, el dispositivo regresa a su configuración de estación e intenta nuevamente realizar una conexión con la red Wi-Fi. Si la conexión no es exitosa, se regresa a su configuración de Access point y se repite el proceso.

Una vez que el módulo Wi-Fi cuenta con conexión a internet, se debe establecer la conexión con la plataforma de Firebase, para esto es necesario contar con el host y las credenciales de la base de datos, las cuales están disponibles en el proyecto de Firebase creado para esta aplicación. En la figura 5, se aprecia el diagrama de flujo del interruptor inalámbrico.

### **3.3 Plataforma en la nube**

Firebase es una tecnología que permite crear aplicaciones sin programación del lado del servidor para que el desarrollo resulte más fácil y rápido. Un solo nodo de Firebase ofrece hasta 100 conexiones por segundo en su edición gratuita [14]. La plataforma de Firebase ofrece los siguientes servicios:

- Real time data base: Base de datos en tiempo real.
- Autenticación: Identificación de usuarios mediante email o redes sociales.
- Nube de almacenamiento: Almacenamiento y envío de archivos a la escala de Google.
- Hosting: Publicación de páginas Web.
- Remote config: Modificación de ciertos aspectos de una app sin la necesidad de actualizar la misma.
- Test lab: Probar la aplicación antes de publicarla.



- Crash reporting: Reportar errores de la aplicación.

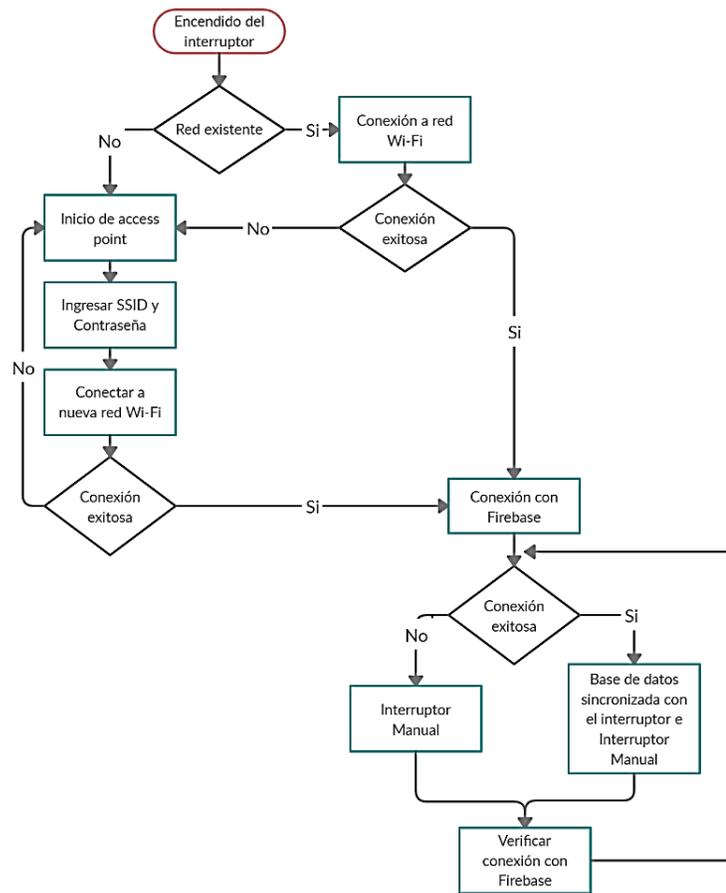


Figura 5. Diagrama de flujo del interruptor inalámbrico Wi-Fi.

Para propósitos específicos de este trabajo, se utilizaron dos de los servicios ya mencionados, la autenticación para el registro de usuarios y la base de datos en tiempo real que permite obtener la información del interruptor.

### 3.3.1 Autenticación de usuarios

Cuando el usuario accede por primera vez a la aplicación, se crea una cuenta de usuario nueva y la vincula con las credenciales (correo electrónico y contraseña). Esta cuenta nueva se almacena como parte del proyecto de Firebase y se puede usar para identificar a un usuario en la aplicación. De esta manera se puede administrar la información que el usuario ha registrado en Firebase. Si el usuario cambia de teléfono o desinstala la aplicación, su información aún está disponible ya que se encuentra almacenada en la base de datos.

### 3.3.2 Base de datos NoSQL de Firebase

Los sistemas de bases de datos NoSQL se centran en la disponibilidad, el particionamiento y brindan consistencia eventual. Firebase Realtime Database es una base de datos NoSQL alojada en la nube. Los datos se almacenan en formato JSON y se sincronizan en tiempo real con cada cliente conectado. En lugar de solicitudes HTTP típicas, se usa la sincronización de datos (cada vez que cambian los datos, los dispositivos conectados reciben esa actualización en milisegundos). En la



figura 6, se muestra la interfaz de la base de datos en tiempo real, la cual contiene información sobre dispositivos e información que un usuario ha registrado en la base de datos de Firebase.

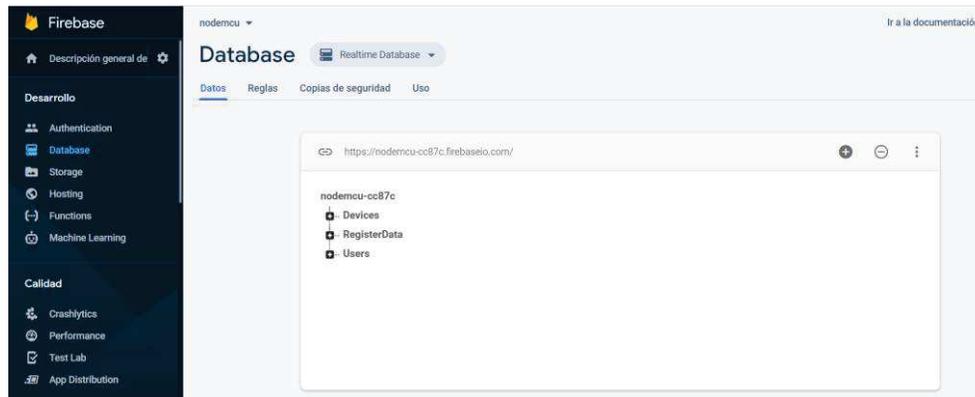


Figura 6. Base de datos en tiempo real de Firebase.

Para dar de alta una base de datos es necesario crear una cuenta en Firebase e ingresar a la consola principal en la cual se añade un nuevo proyecto con su respectivo nombre y ubicación. Una vez creado el proyecto, se crea la base de datos con las características de escritura y lectura deseadas, por último, se realiza la sincronización con la aplicación. La sincronización se realiza mediante una opción defina en Firebase, generando un archivo JSON, el cual se debe guardar en el proyecto de la aplicación Android para enlazarla con la base de datos. Por otro lado, en la configuración de la base de datos se encuentra un host y una contraseña para que el módulo Wi-Fi se conecte con dicha base. La figura 7 muestra un diagrama de flujo con el proceso para crear la base de datos y sincronizarla con la aplicación Android.

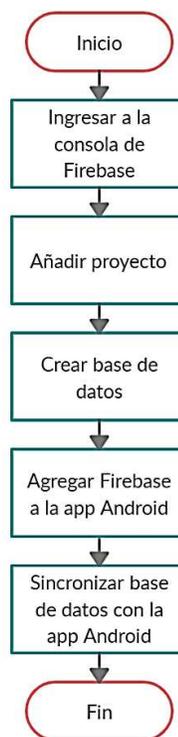
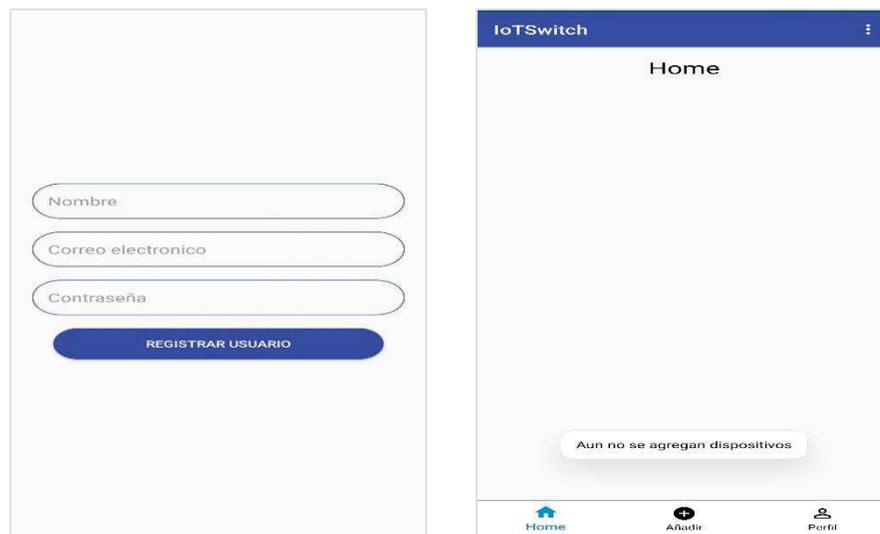


Figura 7. Diagrama de flujo para crear una base de datos en Firebase.



### 3.4 Aplicación de Android

Se ha desarrollado una aplicación Android, utilizada para controlar y monitorear el estado de las luces. La aplicación ha sido desarrollada en Android Studio IDE utilizando el lenguaje Java. La primera vez que el usuario accede a la aplicación es necesario que cuente con un correo electrónico de cualquier dominio, de esa manera, se puede registrar y crear una cuenta. Una vez que se ha iniciado sesión, se muestra un perfil de usuario, en el cual están presentes los interruptores que se han agregado hasta ese momento. En una primera instancia, el usuario no contara con ningún interruptor, por lo que es preciso agregar el dispositivo a su perfil, con la opción “Añadir”, en la cual el usuario puede establecer un nombre para identificar el lugar en el que se encuentra el interruptor. En la figura 8, se presenta la interfaz de registro y la vista principal de la aplicación.



**Figura 8. Interfaz gráfica de la aplicación Android, registro de usuario (Izquierda) y perfil de usuario (derecha).**

En la aplicación, se incluyeron funciones para programar eventos en los interruptores con la finalidad de brindar a los usuarios una alternativa para automatizar el encendido o apagado de las luces a cierta hora y fecha determinada. En la sección de control y monitoreo de cada interruptor, está definida la opción “Calendario” con la cual se pueden registrar los eventos. En la figura 9, se muestran las características con las cuales se programa el evento, se puede ejecutar solo una vez en una fecha y hora determinada o en varios días de la semana con su respectiva hora, además del estado de la luz ya sea encendido o apagado. Por último, se debe seleccionar el canal, el interruptor diseñado para este trabajo solo cuenta con un canal, que representa la salida al foco de 120VAC.

### 3.5 Instalación del interruptor en una vivienda

Las pruebas se realizaron en una vivienda, se llevó a cabo la instalación del interruptor con la red eléctrica. En el área de un interruptor eléctrico convencional se introdujo el circuito del interruptor inalámbrico al cual se le coloco su respectivo pulsador y el módulo Wi-Fi Esp8266-01 ya programado. En la figura 10, se muestra la instalación del interruptor.

### 3.6 Pruebas de funcionamiento

**Conectividad del interruptor inalámbrico:** Esta prueba consistió en conectar el interruptor inalámbrico a la red Wi-Fi de una casa, en un inicio, el ESP8266 no cuenta con credenciales almacenadas de ninguna red, por lo que es indispensable enviar los parámetros SSID y contraseña



por medio de un celular o computadora. En esta ocasión se utilizó un celular para enviar dichos parámetros, se accedió a las redes Wi-Fi del celular y se buscó la red "Interrupor\_WiFi" creada por el ESP8266. Una vez conectado a esa red, aparece el portal cautivo con la opción de configurar Wi-Fi, véase figura 11.

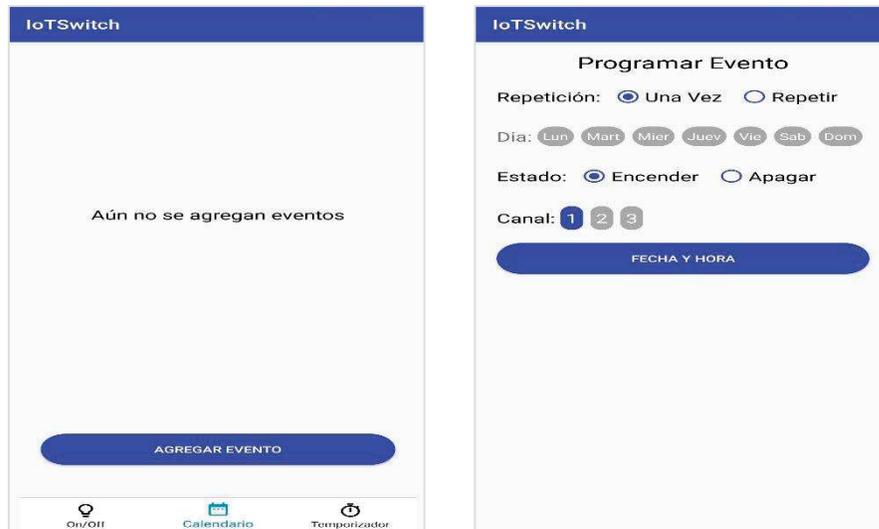


Figura 9. Sección de eventos programados (Izquierda) y configuración de eventos (derecha).



Figura 10. Instalación del interruptor inalámbrico Wi-Fi.

En la configuración Wi-Fi, se selecciona la red con la cual se quiere establecer una conexión, y se guarda con su respectiva contraseña. Por último, aparece un mensaje informando que las credenciales se han guardado y se está intentando la conexión. Si la conexión se establece, desaparece el portal cautivo y la red Wi-Fi del interruptor, en caso de que la conexión falle, se deben enviar de nuevo las credenciales correspondientes, véase figura 12.

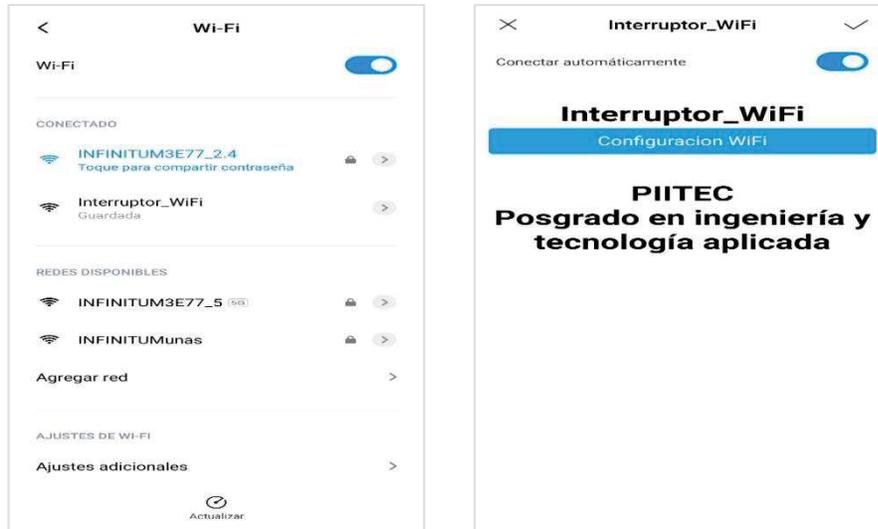


Figura 11. Red Wi-Fi (izquierda) y configuración Wi-Fi (derecha) del interruptor inalámbrico.

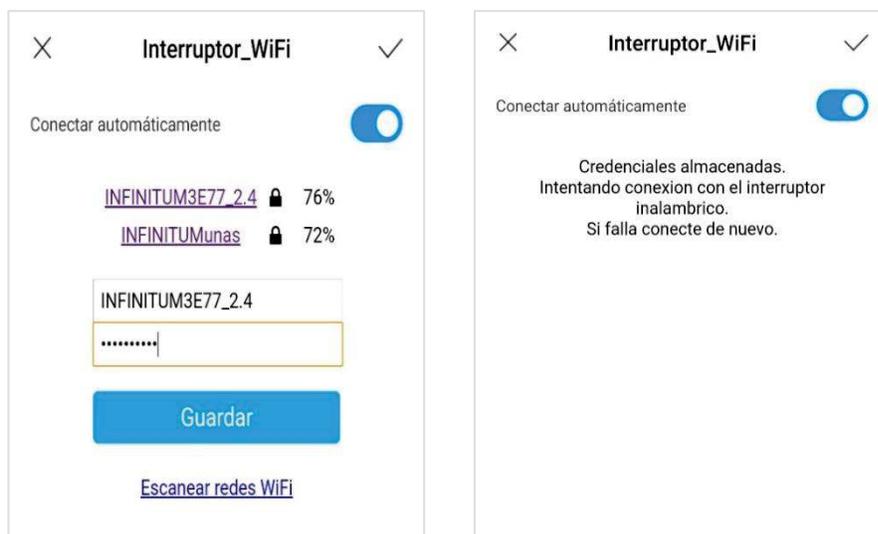


Figura 12. Guardar parámetros de red Wi-Fi (izquierda) y mensaje de conectividad (derecha).

**Añadir interruptor al perfil de usuario:** Esta prueba se llevó acabo en un celular con sistema Android, consistió en agregar el interruptor a la aplicación, para que sea posible su control y monitoreo. En la opción “añadir dispositivo”, se busca el interruptor a partir de los parámetros SSID y contraseña de la red Wi-Fi en la cual está conectado dicho interruptor. Una vez que el dispositivo es encontrado, se debe ingresar un nombre que identifique el lugar en el cual se encuentra, véase figura 13.

**Controlar y monitorear el interruptor:** En la sección home de la aplicación, se muestra un recuadro con el interruptor agregado, y se puede acceder a la sección de control y monitoreo seleccionando el interruptor deseado. En la sección “On/Off”, se muestra un botón que actualiza el estado del interruptor en la base de datos y por consecuente la luz de la casa. El botón también se actualiza si el interruptor es presionado de forma manual por medio del pulsador, véase figura 14.

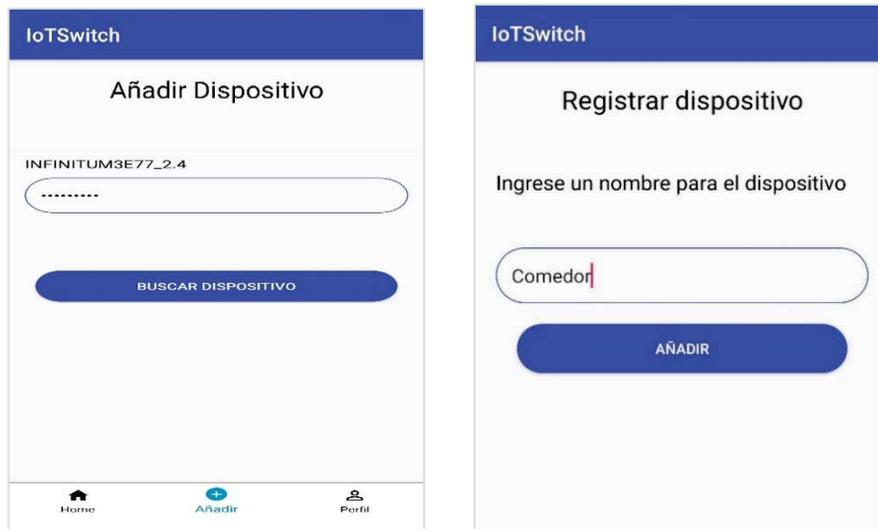


Figura 13. Buscar interruptor conectado a la red Wi-Fi (izquierda) y Registrar dispositivo (derecha).

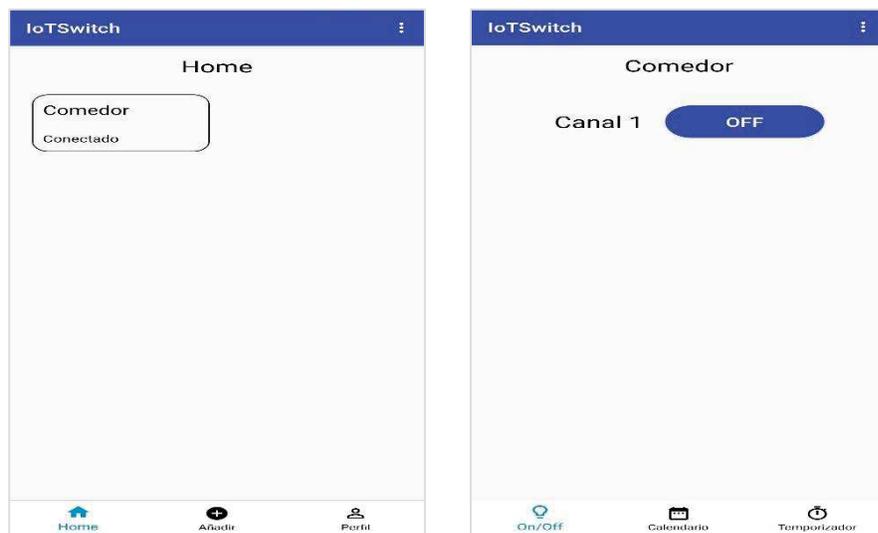


Figura 14. Interruptor agregado al perfil de usuario (izquierda), control y monitoreo del interruptor (derecha).

En la sección "Calendario" se muestra la lista de eventos, para incluir uno nuevo se debe seleccionar la opción "Agregar evento" la cual muestra una serie de configuraciones que el usuario puede seleccionar dependiendo de sus requerimientos. En la figura 15, se puede apreciar la programación de un evento y la lista de eventos, la cual indica la frecuencia con la que se repetirá, si se enciende o apaga la luz, además de su respectiva fecha y hora.

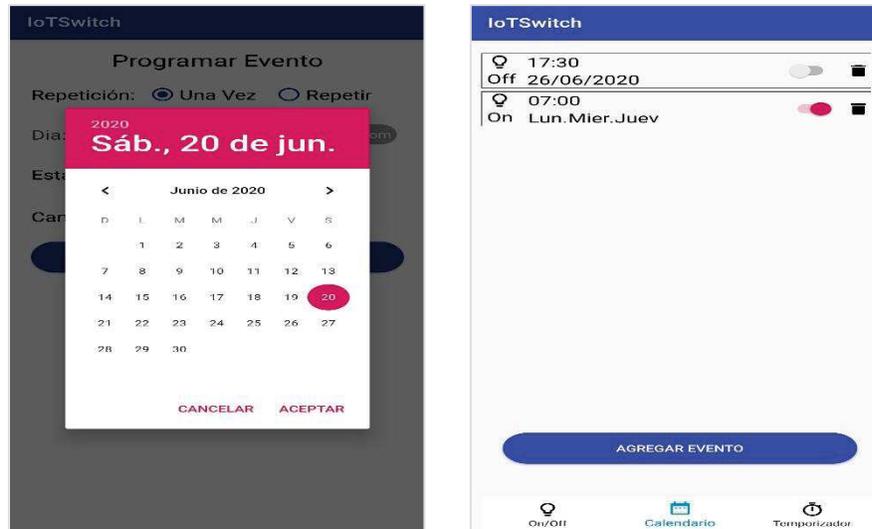


Figura 15. Programación de un evento(izquierda) y lista de eventos (derecha).

#### 4. Resultados

El desarrollo de modelos estadísticos basados en algoritmos de inteligencia artificial permite predecir y reconocer patrones en el sistema energético, para lograr esto, se debe tener un conjunto de datos basados en el historial del consumo, por lo que es necesario recopilar la información de los interruptores y almacenarla en una base de datos. Cada vez que el interruptor cambia su estado, se envía esa información a nuestra base de datos, la cual contiene el lugar en el que se encuentra el dispositivo, el estado ya sea encendido o apagado, además de la fecha y hora. Esta información proporciona datos sobre el tiempo que lleva encendida o apagada la luz de la vivienda o edificio, y se podría detectar un patrón cuando se tenga un comportamiento inusual en el uso de este servicio. La figura 16 muestra la información que se ha recopilado del interruptor inalámbrico Wi-Fi.

	0	1	2	3
	Lugar	Estado	Fecha	Hora
0	Comedor	Encendido	30/06/2020	19:53:34
1	Comedor	Apagado	30/06/2020	19:53:45
2	Comedor	Encendido	30/06/2020	19:56:20
3	Comedor	Apagado	30/06/2020	19:57:30
4	Comedor	Encendido	30/06/2020	20:15:28
5	Comedor	Apagado	30/06/2020	20:56:05
6	Comedor	Encendido	30/06/2020	21:30:50
7	Comedor	Apagado	30/06/2020	23:20:16
8	Comedor	Encendido	30/06/2020	23:36:14
9	Comedor	Apagado	30/06/2020	23:40:20
10	Comedor	Encendido	1/7/2020	8:34:29
11	Comedor	Apagado	1/7/2020	8:34:45
12	Comedor	Encendido	1/7/2020	9:10:40
13	Comedor	Apagado	1/7/2020	9:31:11
14	Comedor	Encendido	1/7/2020	10:12:20
15	Comedor	Apagado	1/7/2020	10:13:24
16	Comedor	Encendido	1/7/2020	10:21:29
17	Comedor	Apagado	1/7/2020	11:01:53
18	Comedor	Encendido	1/7/2020	12:19:04
19	Comedor	Encendido	1/7/2020	12:19:04

Figura 16. Información recopilada y almacenada en una base de datos local.



Con respecto a la funcionalidad del sistema, se analizaron las configuraciones correspondientes, particularmente los estados de conexión a la red. Dado que todo el sistema está basado en el internet de las cosas, siempre debe existir una conexión activa a internet, tanto del interruptor como de la aplicación Android. La latencia y respuesta del sistema dependen de los retardos y demora en la propagación de la información, en el caso de contar con velocidades de datos bajas por parte del Wi-Fi del edificio o vivienda, la latencia aumentará provocando retardos en la actualización de los estados del interruptor. Cuando el interruptor no logra conectarse a internet debido a problemas por parte del proveedor de servicio, entonces las luces se pueden apagar o encender de forma manual, manteniendo el propósito de cualquier interruptor eléctrico convencional sin afectar el confort del usuario. En la figura 17, se puede apreciar varios interruptores vinculados con una cuenta y se muestran en la sección home de la aplicación Android.



Figura 17. Interruptores agregados a la aplicación Android.

## 5. Conclusiones

En este trabajo, se describe la implementación de un sistema de control y monitoreo remoto para las luces de una vivienda o edificio, ofreciendo una alternativa para el manejo óptimo de la energía eléctrica que consume este servicio. Se diseñó un interruptor inalámbrico Wi-Fi que se conecta a la red local, el cual tiene la función de controlar la luz de un área específica del edificio, ya sea manualmente con un pulsador o por medio de una aplicación móvil. Además, la aplicación también tiene como objetivo monitorear en cualquier lugar y momento el estado de las luces siempre que se cuente con una conexión a internet.

Realizar un ahorro de los servicios básicos en un edificio se convierte en una de las principales acciones por parte de la industria 4.0, demandando sistemas inteligentes que detecten cuando se desperdicia energía eléctrica, agua y gas L.P de forma involuntaria, brindando un bienestar económico, social y ambiental. Este proyecto, se llevó a cabo con la finalidad de generar nuestra propia plataforma con la cual se puedan obtener los datos de dispositivos domóticos y generar una base de datos, ya que las plataformas actuales en el mercado utilizan sistemas cerrados, es decir, no se puede acceder a la información de los datos almacenados en la nube de esos dispositivos. Con una gran cantidad de datos, se buscará realizar un análisis que permita aplicar técnicas y métodos de inteligencia artificial para predicción y reconocimiento de patrones que incorporen inteligencia a los dispositivos y actúen completamente de forma autónoma.



## Referencias

- [1] H. I. Ning and Y. C. Fan, “*Design of an Internet of Things-based Smart Home System*,” 2017 IEEE Int. Conf. Consum. Electron. - Taiwan, ICCE-TW 2017, pp. 125–126, 2017.
- [2] M. Aazam, S. Zeadally, and K. A. Harras, “*Deploying Fog Computing in Industrial Internet of Things and Industry 4.0*,” IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 14, no. 10, pp. 4674–4682, 2018.
- [3] L. Da Xu, E. L. Xu, and L. Li, “*Industry 4.0: State of the art and future trends*,” Int. J. Prod. Res., vol. 56, no. 8, pp. 2941–2962, 2018.
- [4] J. Delsing, “*Local Cloud Internet of Things Automation: Technology and Business Model Features of Distributed Internet of Things Automation Solutions*,” IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 11, no. 4, pp. 8–21, 2017.
- [5] H. Singh, V. Pallagani, V. Khandelwal, and U. Venkanna, “*IoT based smart home automation system using sensor node*,” Proc. 4th IEEE Int. Conf. Recent Adv. Inf. Technol. RAIT 2018, pp. 1–5, 2018.
- [6] C. Zhang, M. Zhang, Y. Su, and W. Wang, “*Smart home design based on ZigBee wireless sensor network*,” 2012 7th Int. ICST Conf. Commun. Netw. China, CHINACOM 2012 - Proc., pp. 463–466, 2012.
- [7] A. Tewari and B. B. Gupta, “*Security, privacy and trust of different layers in Internet-of-Things (IoT) framework*,” Futur. Gener. Comput. Syst., 2018.
- [8] J. Dutta and S. Roy, “*IoT-fog-cloud based architecture for smart city: Prototype of a smart building*,” Proc. 7th Int. Conf. Conflu. 2017 Cloud Comput. Data Sci. Eng., no. May 2019, pp. 237–242, 2017.
- [9] A. Botta, W. De Donato, V. Persico, and A. Pescapé, “*Integration of Cloud computing and Internet of Things: A survey*,” Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 56, pp. 684–700, 2016.
- [10] A. P. Plageras, K. E. Psannis, C. Stergiou, H. Wang, and B. B. Gupta, “*Efficient IoT-based sensor BIG Data collection–processing and analysis in smart buildings*,” Futur. Gener. Comput. Syst., vol. 82, pp. 349–357, 2018.
- [11] J. D. Quintero P., E. F. Tacan C., and F. A. España C., “*Diseño e Implementación de un Sistema de Control y Monitoreo Remoto para la Iluminación de una Vivienda a través de un Teléfono Móvil con Sistema Operativo Android y Board ARM mini2440*,” Ing. y Región, vol. 13, no. 1, p. 179, 2015.
- [12] H. V. Bhatnagar, P. Kumar, S. Rawat, and T. Choudhury, “*Implementation model of Wi-Fi based Smart Home System*,” Proc. 2018 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Eng. ICACCE 2018, no. June, pp. 23–28, 2018.
- [13] A. Rahmi, I. Piarsa, and P. Buana, “*FinDoctor-Interactive Android Clinic Geographical Information System Using Firebase and Google Maps API*,” Int. J. New Technol. Res., vol. 3, no. 7, p. 263272, 2017.
- [14] Google, “*Firebase Documentation*,” 2020. <https://firebase.google.com/docs>.



# Desarrollo de una Máquina Expendedora Automática de Componentes Electrónicos

✉Alejandre-Flores Marisol, Soto-Hernández Bruce, Sánchez-Nájera Jesús Claudio y Zamacona-Sánchez Daniel.

Instituto Politécnico Nacional CECyT Miguel Bernard  
✉malejandref@ipn.mx

## Resumen

*En el presente artículo se plantea el diseño y construcción de una máquina expendedora automática de componentes electrónicos, que se implementara en el sector educativo dentro de los laboratorios para la venta de material electrónico básico que permita el desarrollo de las prácticas establecidas en la institución educativa, para ello se propuso que el sistema de control de la máquina fuera por medio de una placa de desarrollo Arduino Mega 2560 mediante la programación en la plataforma Arduino IDE, y una pantalla de cristal líquido LCD para la visualización del menú de compra y un teclado de tipo táctil para la selección de los componentes electrónicos, la forma de dispensar los productos será por medio de servomotores y resortes acoplados. Para el pago de los productos será por medio de un monedero electrónico modelo A-638, que permitirá el cobro del monto exacto de los productos. Como resultado se obtuvo una máquina expendedora automática de componentes electrónicos con cobro exacto de los productos a vender, para ser implementada dentro de los laboratorios de la institución educativa CECyT Miguel Bernard para el desarrollo de las prácticas; esto permitió un ahorro de tiempo en la realización de las prácticas y en la compra de los componentes electrónicos dañados para su remplazo en las prácticas.*

**Palabras clave:** Maquina expendedora automática, Arduino Mega 2560, plataforma IDE Arduino, pantalla de cristal líquido, teclado táctil matricial, servomotores, monedero electrónico.

## 1. Introducción

El desarrollo tecnológico y la automatización de máquinas ha ido evolucionando a gran escala, actualmente ya sea por medio de una computadora, un celular o algún aparato nos permite obtener un bien o servicio con tal solo ingresar una moneda, la automatización ha hecho posible facilitar la calidad de vida y el bienestar de la sociedad, resolviendo problemas complejos dentro de la industria y sus procesos [1].

Dentro de la industria global el uso de las máquinas expendedoras se está volviendo popular en países en vías de desarrollo. Según la Worldwide Vending Association, operan alrededor de 10 millones de máquinas expendedoras en el mundo [2]. En México, no es común encontrarse con estas máquinas dentro de alguna institución educativa a menos que sea de dulces o bebidas que con solo colocar una moneda se puede obtener algún producto de los mencionados anteriormente, sin embargo no existen máquinas expendedoras que beneficien a los estudiantes para el desarrollo de sus trabajos escolares.

En ese sentido y a continuación, se detallarán algunos trabajos de interés que han sido reportados en la literatura sobre desarrollo de máquinas expendedoras implementadas en instituciones educativas que han contribuido a un beneficio para los estudiantes y su quehacer educativo, que sirvieron de referencias para el presente artículo. En [3] 2013 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación de Tuleda España, diseñaron una máquina expendedora de snacks con el objetivo de ser implementada en espacios públicos, esta constaba de un panel touch en el cual el usuario podría interactuar y seleccionar el producto deseado, además de



que tenía distintos elementos de seguridad lo cual prevenía que fuera vandalizada por los usuarios, ya que era vigilada por una serie de cámaras que estaban en la máquina, también contaba con una antena wifi para mantenerla monitoreada y en constante comunicación.

En el año 2014 jóvenes del Instituto Tecnológico de León en la facultad de Ingeniería Electrónica dentro de la materia de microcontroladores desarrollaron una máquina expendedora de componentes electrónicos la cual funcionaba por medio de un monedero multimoneda con el objetivo de poder aceptar monedas de distinta denominación. El usuario podía elegir entre los distintos componentes electrónicos por medio de botones pulsadores, una vez que se mandaba la señal la recibía una tarjeta Arduino Mega 2560 que accionaba un motorreductor para mover los espirales [4].

Los proyectos anteriormente mencionados han dado pauta para el desarrollo de la Máquina expendedora automática de componentes electrónicos que permita dispensar dentro de los laboratorios de la escuela, material electrónico básico para el desarrollo de sus prácticas y el ahorro de tiempo en el remplazo de los elementos y en la compra de estos. Esta será controlada por medio de una tarjeta electrónica Arduino Mega 2560 que recibirá las señales por medio de un teclado táctil y se mostrara el menú en una LCD, una vez que la tarjeta reciba la señal del teclado esta mandará la indicación para mover un servomotor con un tipo de resorte o espiral para que pueda mover el producto a despachar.

El presente artículo está organizado de la siguiente forma, en la sección 2 se describe el diseño de la Máquina expendedora automática de componentes electrónicos. En la sección 3 se presenta la propuesta de programación para el sistema de control por medio de una tarjeta electrónica Arduino Mega 2560, la programación de la LCD, teclado táctil, monedero electrónico y servomotores. En la sección 4, se presentan las pruebas realizadas con la tarjeta electrónica y los demás elementos de la máquina. Finalmente, en la sección 5 se presentan las conclusiones del artículo y posibles opciones de mejora de la Máquina expendedora automática de componentes electrónicos.

## **2. Máquina expendedora automática de componentes electrónicos**

La máquina expendedora automática está diseñada de una manera compacta y con materiales fáciles de adquirir ya que permitirá seleccionar entre los distintos productos que ofrecerá la maquina por medio de un teclado alfanumérico y la tarjeta electrónica Arduino Mega 2560.

Este proyecto consiste en el diseño y construcción de una máquina expendedora automática de componentes electrónicos, está conformada por un teclado alfanumérico el cual permitirá elegir el componente deseado en la máquina, además de contar con una pantalla LCD que ayudara a tener una mejor interacción con el usuario por medio de menús que lo irán guiando, consta de servomotores MG995 con resortes acoplados los cuales giraran y dispensara el producto al depositar las monedas por medio de un monedero electrónico A-638 para obtener el producto todo esto es controlado por medio de las entradas y salidas de la tarjeta electrónica Arduino Mega 2560. La máquina cuenta con una fuente de alimentación a 12VCD y 5VCD con un botón de encendido y apagado de la maquina y tiene una protección con fusible en caso de una falla en la corriente eléctrica.

### **2.1 Diseño de la Máquina expendedora automática**

La máquina expendedora automática está integrada por los siguientes componentes: Un gabinete realizado con perfil zintro de  $\frac{3}{4}$  para la estructura y con acrílico en la parte de enfrente donde se puedan visualizar los productos, además se le incorporaron en la base de la estructura ruedas 2 T gel tipo yoyo para que pudiera moverse la máquina, el control se realizara por medio de la programación de la tarjeta electrónica Arduino Mega 2560, para la visualización del menú se utilizó una pantalla LCD y para la selección de los productos un teclado matricial 4x4 que mandara la señal para la activación de los servomotores MG995 con resortes acoplados los cuales giraran y de esta manera se dispensara el producto seleccionado una vez depositada la moneda por medio de un monedero electrónico A-638.

## 2.2 Características Técnicas de los Elementos a utilizar

Los elementos y componentes utilizados para la máquina expendedora automática se muestran en la Tabla 1.1, con sus características técnicas más importantes.

Tabla 1.1 Elementos a utilizar con sus características.

NOMBRE DEL ELEMENTO	IMAGEN	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS
Arduino Mega 2560		<p><b>Microcontrolador: ATmega2560</b>                      *Voltaje Operativo: 5V                      *Voltaje de Entrada: 7-12V                      *Voltaje de Entrada (límites): 6-20V                      *Pines digitales de Entrada/Salida : 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)                      *Pines analógicos de entrada: 16                      *Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA                      *Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA                      *Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)                      *SRAM: 8KB                      *EEPROM: 4KB                      *Clock Speed: 16 MHz</p>
Módulo de servomotores		<p>*Canal de salida: 8                      *Voltaje de funcionamiento: 24V                      *Relé de tensión de carga: 125VAC/250VAC 28VDC/30VDC                      *Corriente de operación: 10A                      *Voltaje de la bobina (relé): 5V                      *Modo de disparo: Bajo nivel de disparo                      *Diodo de protección: En cada bobina                      *Diodo LED indicador: Estado para cada canal                      *Consumo de corriente (bobina): 20mA</p>
Servomotor		<p><b>Servomotor MG995 15Kg</b>                      Voltaje de operación: 4.8 V a 7.2 V                      *Alta velocidad                      *Velocidad de operación: 0.2 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V)                      *Torque detenido: 8.5 kgf·cm (4.8 V), 10 kgf·cm (6 V)                      *Con doble cojinete                      *Ángulo de rotación: 120° aprox. (60° en cada dirección)                      *Banda muerta: 5 µs                      *Peso: 55 g                      *Dimensiones: Largo 40.7 mm, ancho 19.7 mm, altura 42.9 mm aprox.                      *Largo del cable: 31 cm aprox.                      *Con piñonería metálica</p>

## 2.3 Diseño de la estructura.

La estructura de la máquina expendedora automática está fabricada con perfil tipo tubular zintro de  $\frac{3}{4}$  y perfil pintro de  $\frac{3}{4}$ , con las dimensiones de 65cm x 40cm, como se muestra en la



Figura 2.1 y un acrílico de 5mm que sirve como ventana para observar los productos a dispensar.

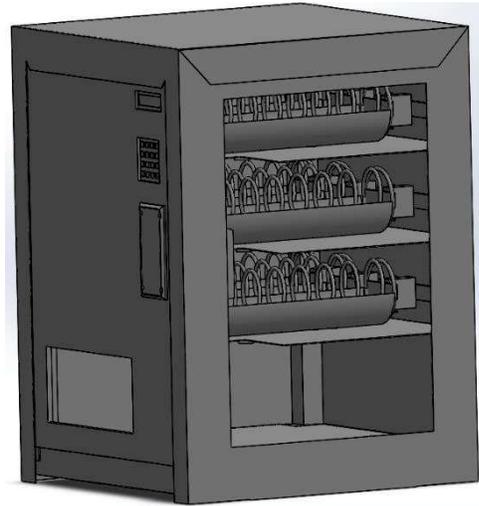
**Tabla 1.1 (cont.) Elementos a utilizar con sus características.**

<p>Monedero Electrónico</p>		<p><b>*Modelo:A-638.</b>                  *Materiales :Plástico.                  *Diámetro de monedas:19mm-30mm.                  *Duración pulso corto:20ms.                  *Duración pulso común :40ms.                  *Duración pulso largo:60ms.                  *Cable gris: Contador (+/-).                  *Cable rojo: Alimentación a 12v.                  *Cable blanco: Señal de salida.                  *Cable negro: Tierra 0v.                  *Cable gris: Contador (+/-).</p>
<p>Pantalla LCD 16x2</p>		<p>*Pin 1 Vss GND o tierra.                  *Pin 2 Vdd Alimentación Vcc o +5V.                  *Pin 3 V0 Control del contraste del display.                  *Pin 4 RS Selección de Registro.                  *Pin 5 R/W Escritura del LCD.                  *Pin 6 Enable Señala el inicio de escritura o lectura del LCD.                  *Pin 7-14 D0-D7 Pines de bus de datos.                  *Pin 15 R + 5V Ánodo de la retroiluminación.                  *Pin 16 GND Cátodo de la retroiluminación.</p>
<p>Teclado Matricial 4x4</p>		<p>*Montaje de bajo perfil                  *Larga vida útil: ~1,000,000 ciclos de operaciones.                  *Conector estándar de 2.54mm (0.1").                  *Digitos; 0-9 .                  *Letras: A-D.                  *Símbolos: "#" y "*".                  *Tamaño: 70 * 77 * 0.8 mm.                  *Longitud del cable: 85 mm (incluyendo el conector).                  *Conector hembra de 8 pines, espaciamento 0.1".                  *Capacidad máxima: 35 VCD, 100 mA.                  *Aislamiento: 100M Ohm, 100V.                  *Rigidez dieléctrica: 250 Vrms (60 Hz, 1 min).                  *Contacto de rebote: &lt;= 5 ms.                  *Temperatura de funcionamiento: -20 a +40 ° C.</p>
<p>Driver I2C</p>		<p>*Velocidad de transferencia: 100 kbits/s.                  *Interfaz: 80s                  *Direcciones: 127 (112 usadas)                  *SDA: Datos.                  *SCL: Reloj.                  *GND: Tierra                  *Modo rápido: 400 kbits/s                  *Alimentación: 5v</p>

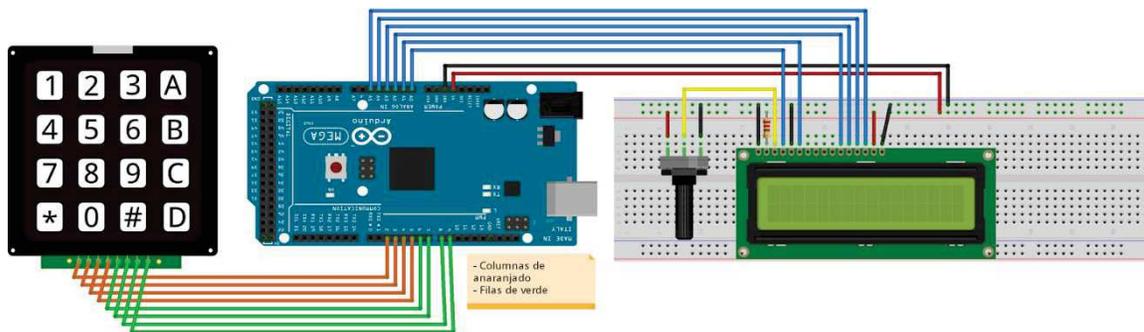
### 2.3 Diseño electrónico

En la Figura 2.2 se muestra la conexión de la pantalla LCD 16x2 con el teclado matricial 4x4 en comunicación con la tarjeta de programación Arduino Mega 2560 en el software fritzing.

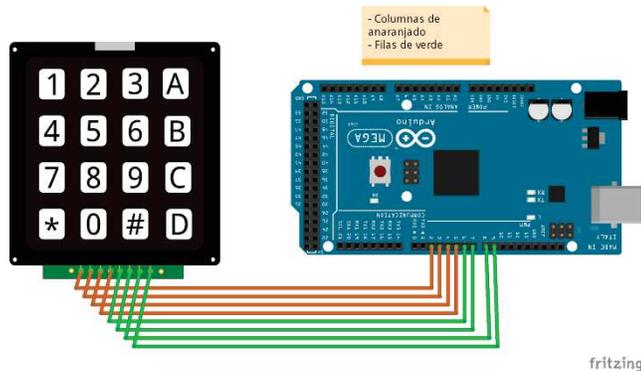
En la Figura 2.3 se observa la conexión del teclado matricial junto con la tarjeta de programación Arduino Mega 2560.



**Figura 2.1. Estructura de la máquina expendedora automática  
Diseño propio**



**Figura 2.2. Diagrama pictórico de conexión con LCD.  
Diseño propio**



**Figura 2.3. Diagrama pictórico de conexión con teclado matricial. Diseño propio**

El módulo de relevadores para la conexión de los servomotores MG995 con la tarjeta de programación Arduino Mega 2560 se muestra en la Figura 2.4.

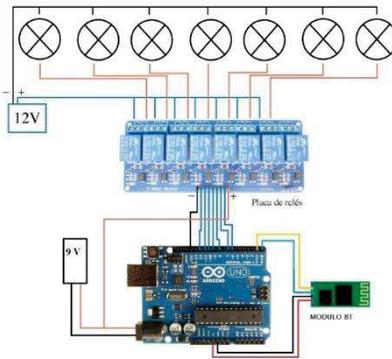


Figura 2.4. Diagrama pictórico de conexión con Modulo de relevadores. Diseño propio

### 2.4 Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina expendedora.

En la Figura 2.5 se puede observar el diagrama de flujo en el cual se basa la máquina expendedora para funcionar implementando un regreso a inicio de la máquina en caso de no depositar la cantidad correcta de monedas.

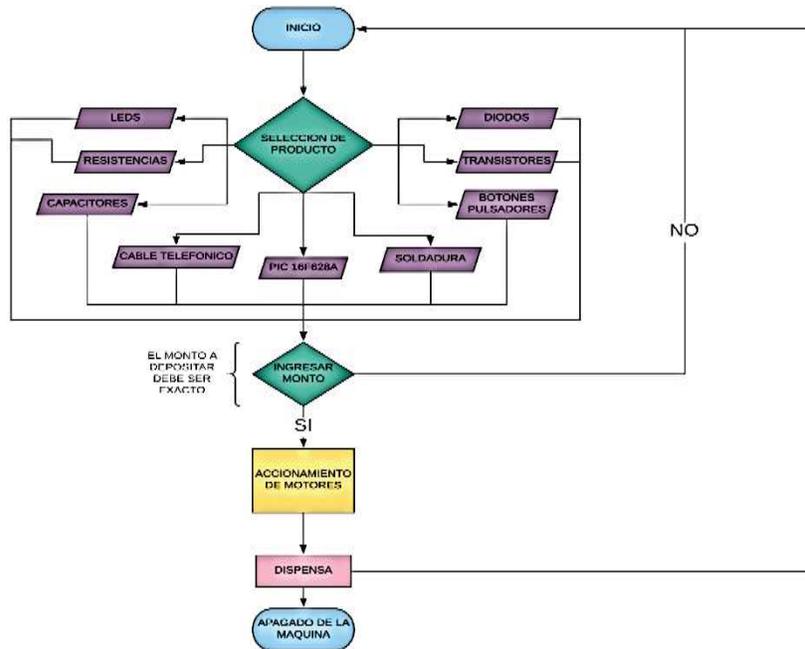


Figura 2.5. Diagrama de flujo del funcionamiento.

En el diagrama de flujo de la Figura 2.5 se observa cómo funciona el menú de la máquina expendedora de componentes electrónicos, se da el inicio y aparece el menú de los elementos que se pueden comprar (leds, resistencias, capacitores, cable telefónico, PIC16F628A, soldadura, botones pulsadores, transistores y diodos rectificadores), se tendrá que hacer una selección del componente que se desea comprar una vez seleccionado se debe ingresar el monto exacto del costo del componente, si se deposita el monto exacto se accionaran los servomotores y se dispensara el producto, si no regresara al menú principal nuevamente para que haga una nueva selección.



### 3. Programación de la máquina expendedora automática

Se muestra en la Figura 3.1 el diagrama de flujo correspondiente a la programación de la máquina expendedora por medio de la tarjeta Arduino Mega 2560.

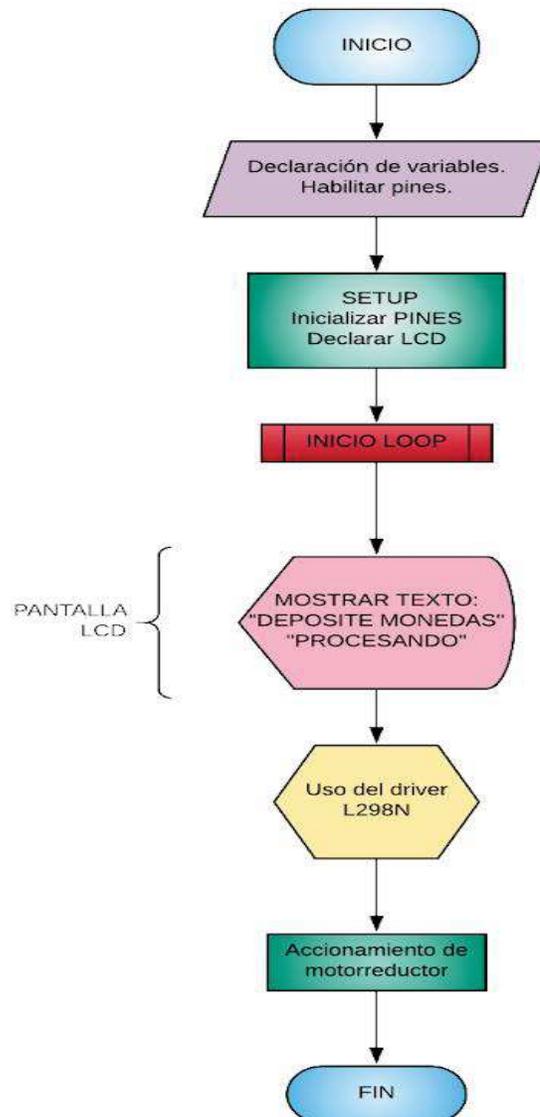
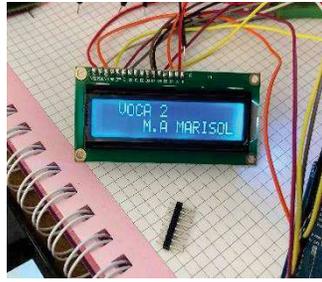


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la programación.

### 4. Pruebas realizadas a la Máquina expendedora automática

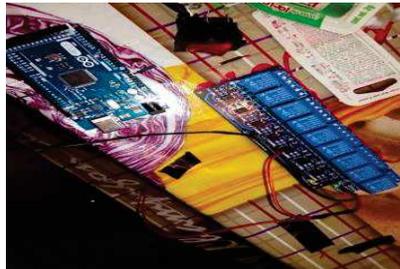
Finalmente, para validar y verificar que la Máquina expendedora automática de componentes electrónicos realiza el proceso de dispensado se realizaron algunas pruebas a los diferentes elementos que se describen de manera detallada a continuación:

Prueba de Comunicación PC-Tarjeta Arduino Mega 2560-LCD/Driver I2C: En esta prueba se comprobó la comunicación entre la computadora, la tarjeta Arduino Mega 2560 y la LCD mediante un cable con entrada USB ver Figura 3.2.



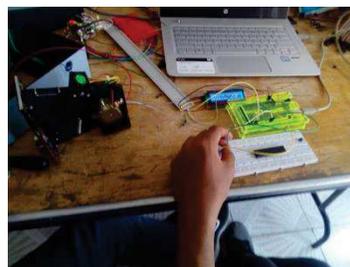
**Figura 3.2. Prueba de comunicación de la PC a la tarjeta Arduino Mega 2560.**

Prueba de Comunicación PC, tarjeta Arduino Mega 2560, Modulo de relevadores y servomotor MG995: En esta prueba se comprobó la comunicación entre la computadora, la tarjeta Arduino y el controlador como se observa en la Figura 3.3; se verifico que los servomotores se accionaran al mandar la señal desde la tarjeta de programación y de esta manera poderlo integrar con el sistema mecánico que consiste en un resorte acoplado al servomotor para que gire y pueda ser dispensado el producto.



**Figura 3.3. Conexión del módulo de relevadores de control con el servomotor MG995.**

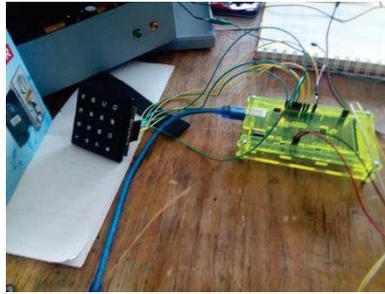
Prueba de Comunicación PC y Tarjeta Arduino Mega 2560-Monedero Electrónico-LCD/Driver I2C: En esta prueba como se muestra en la Figura 3.4 se verifico el funcionamiento del monedero electrónico mediante la inserción de monedas y que este contare las monedas depositadas y mandara la señal al servomotor para dispensar el producto.



**Figura 3.4. Prueba de comunicación de monedero electrónico con la placa Arduino Mega 2560.**

Prueba de Comunicación PC y tarjeta Arduino Mega 2560-Teclado Matricial-LCD/DriverI2C: En la prueba desarrollada se comprueba que por medio de las teclas del teclado matricial mande la señal a la tarjeta Arduino Mega para la correcta selección del producto como se observa en la Figura 3.5.

La Prueba de Validación consistió en encender la máquina expendedora automática de componentes electrónicos por medio del interruptor de encendido/apagado una vez que la máquina esta encendida se muestra el menú en la pantalla LCD y se hace la selección del producto a comprar por medio del teclado táctil, después se realiza el deposito del monto exacto en el monedero electrónico y esto permite que el servomotor seleccionado se accione y haga girar el resorte acoplado para que de esta manera se dispense el producto, como se observa en la Figura 3.6.

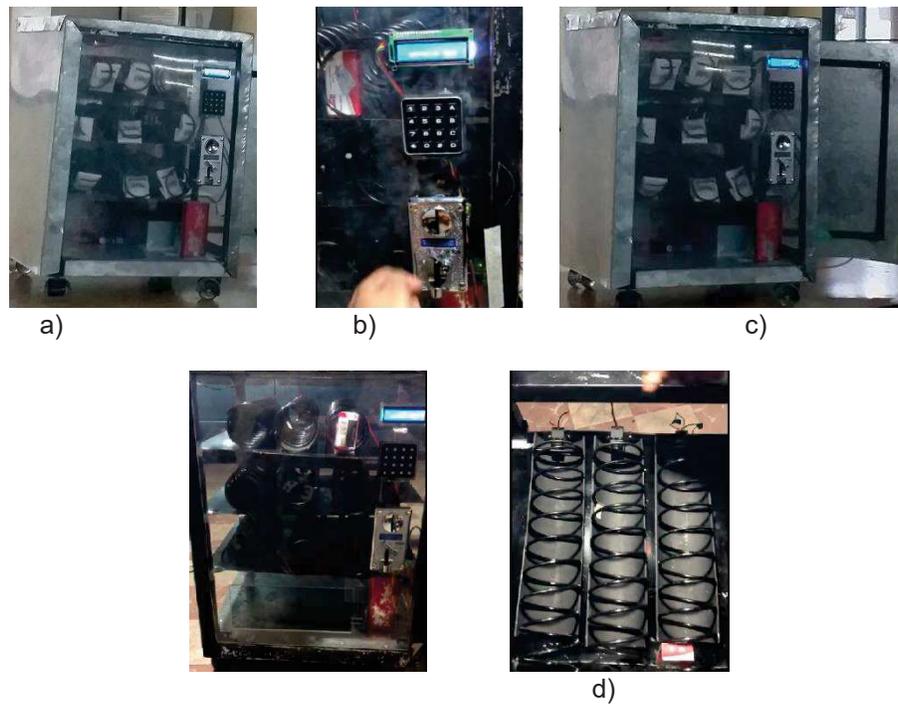


**Figura 3.5. Teclado matricial conectado a la placa Arduino Mega 2560**



**Figura 3.6. Prueba de validación de la máquina expendedora de componentes electrónicos**

A continuación se presentan algunas imágenes de la máquina expendedora automática ya finalizada y presentada ante un jurado evaluador como se muestra en la Figura 3.7.



**Figura 3.7. Máquina expendedora automática de componentes electrónicos terminada**



**a) Maquina terminada encendida, b) Maquina seleccionando algún producto y funcionado el monedero electrónico, c) Maquina ya dispensando el producto d) Maquina probando los servomotores, e ) Maquina donde se muestran los resortes para el dispensado de los productos.**

## **5. Resultados**

Finalmente al concluir con el desarrollo del proyecto se obtuvieron resultados importantes y de gran interés, como lo fue el **diseño, construcción de la máquina expendedora automática de componentes electrónicos programada por medio de una tarjeta Arduino Mega 2560 que manda señales a los servomotores MG995 para que el resorte gire y dispense el producto seleccionado por medio del teclado táctil y el depósito del monto exacto en el monedero electrónico**, así como **la implementación de una pantalla LCD 16x2 y el driver I2C para observar el menú de los productos ofertados en la máquina expendedora**, esto permitió que los alumnos de la institución educativa CECyT Miguel Bernard desarrollaran sus prácticas y los componentes electrónicos que se les pudieran dañar en la realización de las prácticas fueran reemplazados de manera inmediata sin necesidad de perder tiempo para ir a comprarlos o desplazarse hasta la tienda de componentes electrónicos.

A lo largo de este proyecto se presentaron diversas dificultades, una de ellas y la más importante fue la del funcionamiento de los servomotores ya que en un inicio se tenía planeado utilizar motorreductores pero por la cuestión del tiempo en el desarrollo del proyecto se tuvo que modificar y cambiar por servomotores que hicieron más fácil la programación de la tarjeta Arduino Mega 2560, otro inconveniente fue la programación del monedero electrónico ya que presento algunos problemas en él envió de las señales hacia la tarjeta de programación, por lo que se decidió que se tenía que depositar el monto exacto del producto a comprar para que la máquina pudiera funcionar al 100%. Sin embargo pese a los inconvenientes presentados la máquina expendedora automática funciona correctamente y despacha los productos seleccionados por medio del menú.

Después de realizar una tabla de costos de los materiales, se obtuvo como resultado que los costos de fabricación de la máquina expendedora de componentes electrónicos es de aproximadamente de 7,000 pesos mexicanos, sin embargo el costo para el desarrollo de la máquina ya para su venta seria de aproximadamente de 12,000 pesos mexicanos, esto es debido a que es para instituciones educativas y debe de ser de bajo de costo para que pueda ser adquirido, además de que aun cuenta con algunas limitaciones en el desarrollo de la máquina como el pago de los productos que debe de ser de monto exacto. Aunque existen máquinas parecidas a esta, a nivel educativo de lo investigado no se encontró ninguna que oferte componentes electrónicos dentro de las mismas instituciones educativas, así que se podría decir que no se tiene algún antecedente de algún sistema parecido como este dentro de las instituciones que este siendo comercializado.

## **6. Conclusiones**

Para concluir, el proyecto cumplió con el objetivo general que se planteó al inicio, el cual era diseñar y construir una máquina expendedora automática de componentes electrónicos, con el fin de desarrollar las prácticas dentro de la institución y el remplazo de los elementos electrónicos en caso de daño en un menor tiempo.

De acuerdo con el objetivo general establecido se planteó el diseño y construcción de una máquina expendedora automática de componentes electrónicos controlada por medio de una tarjeta Arduino Mega 2560; implementando una pantalla LCD para que se muestren los productos a vender por medio de un menú y un teclado táctil que permita la selección del producto a comprar; que permitió una solución viable para el desarrollo de las prácticas dentro de la institución educativa y al remplazo de los elementos dañados dentro de las mismas en un menor tiempo y que esto afecte el aprovechamiento del alumno y el desarrollo de sus competencias en los principales programas de estudio a nivel técnico.



Por lo anterior, se logró que por medio de la Máquina expendedora automática de componentes electrónicos permita a los estudiantes el desarrollo de las competencias para la operación, programación por medio del lenguaje de programación en la plataforma Arduino IDE, y la utilización de diferentes elementos que componen a la máquina, además de la instalación de elementos de entrada y salida, funcionamiento de la máquina expendedora y la detección de fallas en la programación de los elementos y la solución de problemas presentados a lo largo del proyecto. Se tiene como trabajo a futuro implementar un monedero electrónico que permita el depósito de cualquier monto y pueda devolver cambio para mejorar el interfaz usuario máquina. También se tiene planeado implementar sistemas de seguridad en la máquina para que no pueda ser dañada, así como la integración de más productos a comprar ya que solo por el momento la máquina consta con 9 separaciones para despachar los productos. Además de agregar monitoreo para el control de productos y que se envíe un aviso cuando ya no exista producto dentro de la máquina y de esta manera surtir producto nuevamente.

## 7. Agradecimientos

Se agradece al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaria de Investigación y Posgrado por el apoyo otorgado para la realización de este trabajo mediante la aprobación del proyecto de investigación SIP-201905268, así como de los estudiantes tesistas: Infante López José Eduardo, Monroy Soto Dante Eduardo y Monroy González Enrique, quienes desarrollaron una parte muy importante en el proceso de construcción del prototipo.

## Referencias

- [1] Setting the Standard for Automation. ISA. [Online]. <https://www.isa.org/about-isa/what-is-automation/>
- [2] Worldwide Vending Association, 2018.
- [3] Calvo, D, & Latorre, B. “*Diseño de una máquina vending para suministrar productos de acceso general y otros de acceso restringido por medio de identificación digital*”. Escuela técnica superior d de ingenieros industriales y de telecomunicación, Tuleda, 2013 España. [academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/8485/578143.pdf?sequence=1](http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/8485/578143.pdf?sequence=1)
- [4] Becerra, M. “*Evaluación económica y estrategia de máquinas expendedoras de fruta fresca envasada*”. Universidad de Chile Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería Industrial, Santiago, 2009.
- [5] Arduino, Cl. (2019) *ARDUINO MEGA 2560*. Recuperado de: [https://arduino.cl/arduino-mega-2560/el\(26/03/2019\)](https://arduino.cl/arduino-mega-2560/el(26/03/2019)).
- [6] Enrique, C. (2017). *Aprendiendo a manejar Arduino en profundidad*. Recuperado de: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/06/24/motores-arduino/> el (12/04/2019)
- [7] Rad, M. David, R. Luther, C.(2017/2018) *Solución de problemas con algoritmos y estructuras de datos usando Python*. Recuperado de: <http://interactivepython.org/runestone/static/pythoned/index.html/> el (27/03/2019).



# Interfaz de Identificación y Seguimiento de Personas para el Humanoide Bioloid Usando Kinect

✉ Charre Ibarra Saida Miriam, Flores Santos Fernando, Alcalá Rodríguez Janeth Aurelia, Gudiño Lau Jorge y Duran Fonseca Miguel Ángel

Facultad de Ingeniería Electromecánica. Universidad de Colima  
Km. 20 Carretera Manzanillo-Barra de Navidad.  
Manzanillo, Col. México

✉ [scharre@ucol.mx](mailto:scharre@ucol.mx)

## Resumen

*En el presente trabajo se describe el diseño y programación de una interfaz virtual para lograr la identificación y seguimiento de una persona por el robot humanoide Bioloid de la compañía Robotis® mediante el sensor Kinect® desarrollado por Microsoft® para la videoconsola Xbox 360. Se describen los procedimientos de programación y configuración, así como las implementaciones realizadas para lograr los movimientos. La programación del dispositivo sensor de movimientos y el robot se realizó utilizando el software de programación gráfica LabVIEW® y el toolkit Kinesthesia logrando controlar las extremidades superiores e inferiores del robot, sustituyendo al control tradicional que viene incluido con el robot Bioloid por una interfaz más natural e interactiva.*

**Palabras clave:** Robot Bioloid, visión, interfaz virtual, kinesthesia, Kinect.

## 1. Introducción

La robótica se puede describir como una ciencia que se ocupa del análisis, diseño, manufactura y aplicación de máquinas programables con cierto grado de inteligencia, capaces de realizar tareas específicas de una forma automática, tomando decisiones en función a la estructura del programa que poseen [1]. Actualmente la robótica se ocupa del movimiento inteligente de los mecanismos de un robot, los cuales se pueden clasificar en los siguientes cuatro grupos: robots manipuladores, vehículos robot, sistemas hombre-robot y robots inspirados biológicamente. Estos últimos se pueden dividir en los robots humanoides y los robots del mundo animal. Los humanoides son los sistemas más avanzados en el grupo de inspiración biológica, tienen la capacidad de caminar bípedo, caminan con una marcha estáticamente estable o dinámicamente estable, pueden equilibrarse mientras están parados en una sola pierna, se mueven de acuerdo a un compañero de trabajo humano, incluso pueden correr. Los problemas actuales en la robótica humanoide están relacionados con la visión artificial, la percepción y el análisis del entorno, el procesamiento del lenguaje natural, la interacción humana, los sistemas cognitivos, el aprendizaje automático y los comportamientos [2].

Los robots humanoides están llegando a nuestros hogares y se están convirtiendo en nuestros compañeros, pueden ser acompañantes de ancianos y niños, asistentes de enfermeras, médicos, bomberos y trabajadores. Lo que conlleva a tener presente la ética de un robot. Roboethics (Roboética) es una ética aplicada cuyo objetivo es desarrollar herramientas científicas / culturales / técnicas que puedan ser compartidas por diferentes grupos sociales y creencias. Estas herramientas tienen como objetivo promover y alentar el desarrollo de la robótica para el avance de la sociedad humana y los individuos, y para ayudar a prevenir su mal uso contra la humanidad [2] [3].



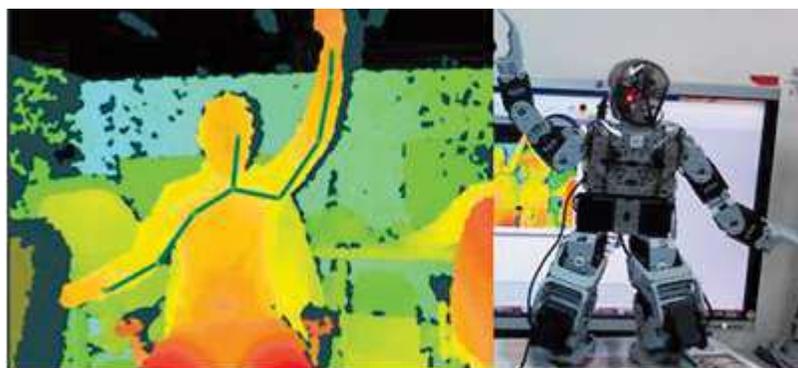
Para cumplir con la finalidad de la robótica alrededor del mundo se fomenta la investigación y la generación de nuevas tecnologías, que permitan la síntesis de las diversas funciones naturales que desarrolla el cuerpo humano de forma inherente, esto a través de la implementación de mecanismos, redes sensoriales y sistemas computacionales que permitan adquirir autonomía a cualquier sistema artificial creado [4].

En 2011 un estudiante de la Facultad de Informática de Barcelona implementó un sistema con guiado gestual de un robot humanoide mediante Kinect, en el cual se controlaban los brazos del robot mediante los movimientos de una persona. Este sistema de guiado gestual fue desarrollado en un entorno de programación Python [5]. La figura 1 muestra el trabajo realizado por el estudiante, donde se aprecia el movimiento de la persona (derecha) y la reacción del robot (izquierda).



**Figura 1. Respuesta de robot humanoide frente a movimiento de persona captada por Kinect [5].**

En el año 2013 un grupo de ingenieros de la Universidad Militar Nueva Granada desarrollaron un control para el movimiento del hombro y antebrazo del robot humanoide Bioid, concluyendo que mediante un sensor como el Kinect es posible realizar el telecontrol de dispositivos robóticos de tipo antropomórfico de forma eficiente y en tiempo real, lo cual facilita y simplifica la interfaz de operación. Este sistema fue desarrollado en una interfaz gráfica de C# (C Sharp), la figura 2 muestra el resultado del sistema de guiado gestual, en el cual el robot (derecha) reacciona al movimiento de la persona (izquierda) [6].



**Figura 2. Resultado de trabajo desarrollado por ingenieros de la Universidad Militar Nueva Granada [6].**

Un grupo de profesores investigadores y alumnos de la Universidad Autónoma del Caribe en 2013 realizaron el control de un brazo robótico construido con la plataforma Lego MindStorm NXT usando el sensor Kinect, ver figura 3, con una interfaz en C# ligada al software de desarrollo LabVIEW. Consistió en controlar el brazo robótico de dos grados de libertad mediante el Kinect, leyendo los movimientos de una persona [7].

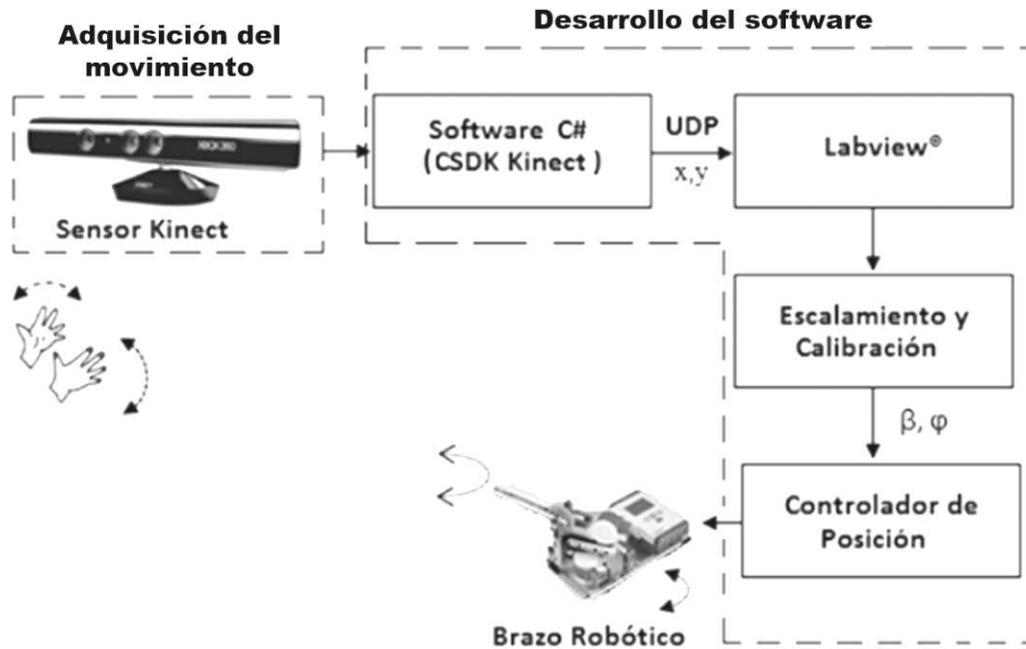


Figura 3. Metodología para el control del brazo robótico de Lego MindStorm NXT [7].

En este mismo año, un grupo de estudiantes en China realizaron un sistema de seguimiento de personas mediante el sensor Kinect [8]. En la figura 4 se muestra el trabajo desarrollado por los estudiantes de China, en el cual se observa el dispositivo Kinect en la parte superior del robot, que tiene la función de detectar a la persona para seguir la trayectoria que realice, todo esto mediante un sistema de ruedas incorporado en la parte inferior del robot.



Figura 4. Robot de seguimiento de personas desarrollado por estudiantes de China [8].

Desde sus inicios, la robótica ha contribuido significativamente en distintos campos, en el ámbito clínico, industrial e investigativo. En el contexto clínico, Rodríguez C. en 2018 desarrollo ejercicios de psicomotricidad para niños con déficit de atención e hiperactividad presente en niños menores de 8 años de edad con la ayuda del humanoide NAO, en donde las rutinas comprenden acciones humanas como observar, caminar, interpretar e interactuar mediante una plataforma computacional [9].

En este mismo contexto, en 2019 un estudiante de la Universidad del Azuay en Ecuador creó un sistema para la Asistencia de Terapias Físicas para adultos mayores; este proyecto fue realizado con un robot humanoide Bioloid, el cual fue programado bajo la interfaz incluida en el robot, la cual

lleva por nombre RoboPlus Task y RoboPlus Manager [10]. La Figura 6 muestra el trabajo realizado por el estudiante de Ecuador, presentando el robot y a las personas en terapia.



Figura 5. Desarrollo de ejercicio psicomotriz [9].



Figura 6. Robot Bioloid aplicado a Terapias Físicas para adultos mayores [10].

Los robots con forma humana tienen un impacto importante en las actividades humanas. En este trabajo se muestra el diseño y programación de una interfaz virtual para controlar las extremidades de un robot humanoide Bioloid mediante el sensor Kinect, aplicando las cámaras RGB y de profundidad que permiten la representación y captura efectiva de los movimientos corporales de las extremidades de una persona [11].

## 2. Esquema de funcionamiento

El funcionamiento del sistema se basa en adquirir datos a través del Kinect, procesarlos en el software LabVIEW y enviar señales de control al humanoide para lograr replicar los movimientos de una persona, figura 7. Para interactuar con el Kinect y el Bioloid en LabView, fue necesaria la instalación de las librerías Microsoft Kinect SDK (Software Development Kit) y Microsoft Kinect.

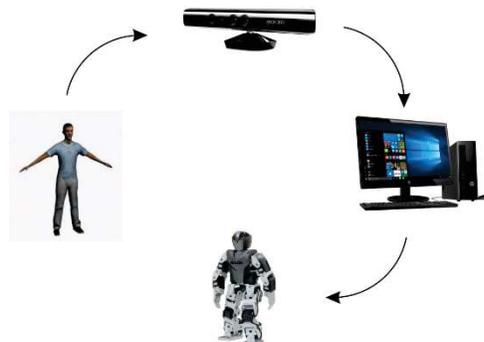


Figura 7. Funcionamiento general del sistema.



En la Figura 8 se presenta un diagrama a bloques sobre la metodología del desarrollo y funcionamiento del proyecto, en el cual se aprecia desde la instalación de las librerías o paquetes de desarrollo, hasta los movimientos del robot realizados a partir del movimiento de una persona, el cual es capturado por el Kinect y procesado en LabVIEW.



Figura 8. Desarrollo y funcionamiento del proyecto.

### 3. Conexión entre Kinect y LabVIEW para la adquisición del movimiento

Microsoft Kinect es un sensor de movimiento que contiene tres piezas que actúan para detectar los movimientos y crear una imagen física en la pantalla: una cámara VGA a color RGB, un sensor de profundidad y un micrófono de multi cadena. La cámara de profundidad es la encargada de crear una vista en “3D”, y crea una imagen de un esqueleto, mientras que el sensor de movimiento detecta los movimientos realizados por la persona [12].

En la figura 9 se muestra el Kinect para Xbox 360, el cual es utilizado en el desarrollo del proyecto.



Figura 9. Microsoft Kinect de Xbox 360.

Para la programación de la interfaz gráfica en LabVIEW, es necesario instalar primero el paquete de desarrollo de Microsoft Kinect SDK 1.8, con la finalidad de que el sistema operativo Windows reconozca el Kinect, y posteriormente instalar la librería Kinesthesia Toolkit en LabVIEW.

En la Figura 10 se muestra el contenido básico de la librería Kinesthesia Toolkit for Microsoft Kinect, la cual se ubica dentro de la sección Vision and Motion de LabVIEW; dicho contenido consta de 4 bloques que son para configurar, iniciar, cerrar y leer datos del Kinect, así como un contenido de bloques adicionales.

La librería Kinesthesia cuenta con una sección llamada Adittional VIs, los cuales son bloques que ayudan a obtener datos del Kinect. La Figura 11 muestra los bloques que contiene, donde se tienen bloques importantes como “Initialise 3D Skeleton” (para comenzar la vista de esqueleto de la



persona), “Render 3D Skeleton” (obtener vista del esqueleto en el espacio 3D), y “Angle Between Joints” (obtener ángulos entre ciertas articulaciones).

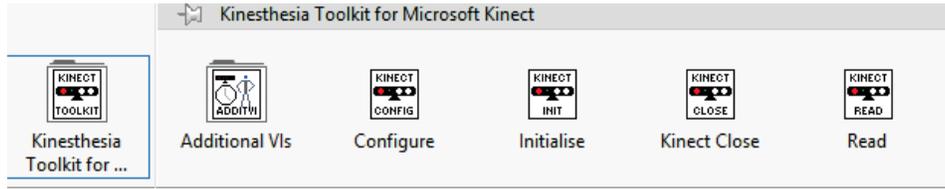


Figura 10. Contenido de librería Kinesthesia Toolkit for Microsoft Kinect.

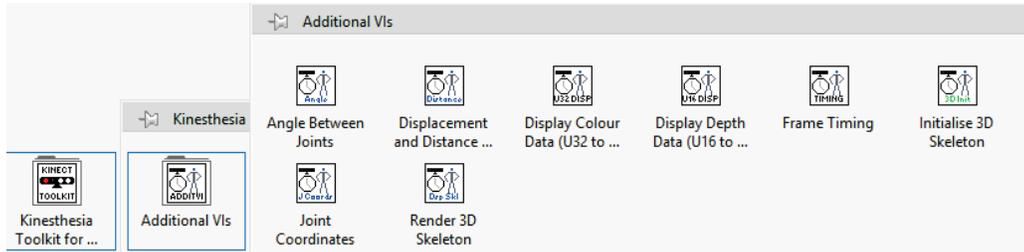


Figura 11. Bloques adicionales de Kinesthesia Toolkit.

La figura 12 muestra el diagrama a bloques del programa en LabVIEW que realiza la conexión y obtención de parámetros del Kinect, en el cual se utilizan los bloques “Kinect Read”, “Kinect Open”, “Kinect Render 3D Skeleton”, entre otros, que ayudan a obtener la lectura de la cámara y de la misma manera obtener el esqueleto en forma de líneas y puntos de la persona, figura 13.

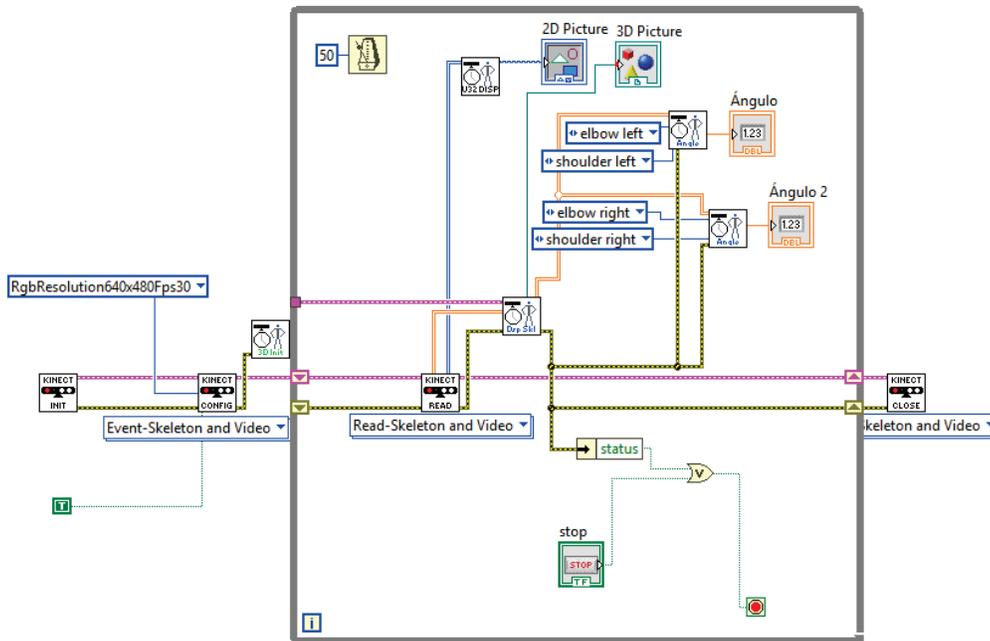


Figura 12. Diagrama de bloques del programa para obtención de datos de Kinect en LabVIEW.



Figura 13. Vista del esqueleto de una persona con la librería de Kinesthesia.

#### 4. Conexión entre Bioloid Premium y LabVIEW para el control de movimiento del agente robótico

Bioloid Premium es un kit de aprendizaje de robótica de la empresa Robotis, con el que se pueden ensamblar robots desde un grado de libertad, hasta un robot humanoide de dieciocho grados de libertad. Se pueden construir robots para educación, para competencias o simplemente para entretenimiento, y cuenta con el controlador Bioloid CM-530 [13].

En la figura 14 se muestra el robot humanoide Bioloid Premium de 18 grados de libertad, con el cual se realizó el proyecto.



Figura 14. Robot Humanoide Bioloid Premium.

La siguiente etapa en el desarrollo del sistema es la conexión entre el robot humanoide Bioloid Premium y LabVIEW; para lo cual es necesario desarrollar un programa que se encargue principalmente de la conexión del puerto del robot a la computadora, de leer la retroalimentación y de enviar las señales que ayudan al movimiento de este.

En la comunicación del Bioloid y LabVIEW, se ven involucrados subprogramas para la conexión, envío y recepción de datos a través del puerto serial, pues es por este medio que el robot se conecta a la computadora mediante un cable USB.



En la figura 15 se muestra el primer programa llamado “Bioloid Open”, que corresponde a la conexión al puerto serial del robot Bioloid, utiliza bloques VISA que ayudan a la conexión [14].

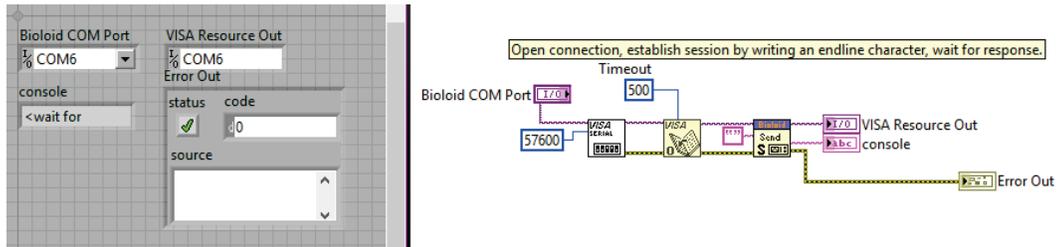


Figura 15. Interfaz para la conexión del robot al puerto serial y envío de señal.

Dentro del programa que conecta al puerto serial se encuentra otro subprograma, el cual es el que se encarga de hacer el envío del dato cuando detecte un dispositivo; la figura 16 muestra el programa llamado “Bioloid Send”, el cual envía el dato e imprime en un buffer cuando se ha detectado y conectado un dispositivo.

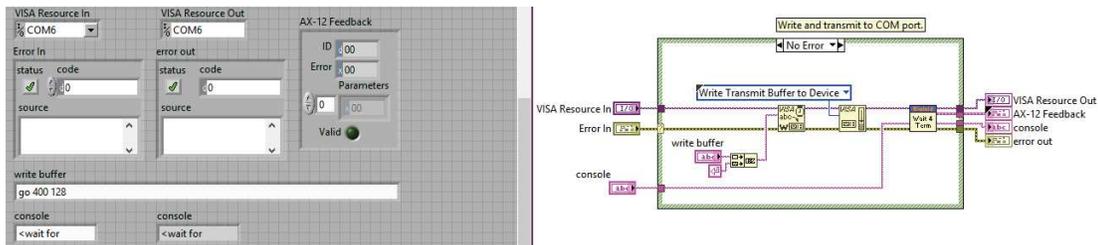


Figura 16. Programa que envía dato a buffer sobre dispositivo conectado.

Dentro del programa “Bioloid Send” existe otro más, que es el que está esperando la señal para conectarse al robot; el nombre de este programa es “Wait for terminal”, y se muestra en la figura 17.

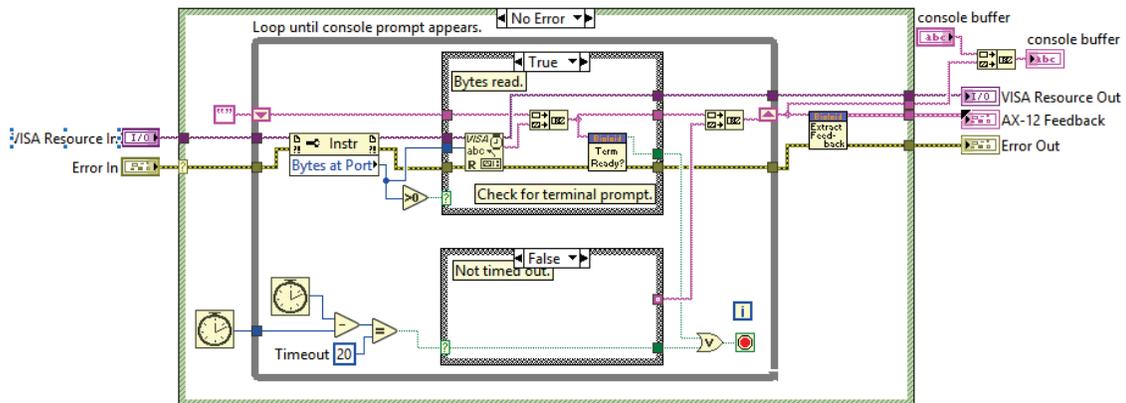


Figura 17. Programa correspondiente a “Wait for terminal”.

En el VI “Wait for terminal”, se puede modificar el tiempo de respuesta del robot, el cual está etiquetado como “Timeout”, mientras menor tiempo se coloque, mayor rapidez tendrá el robot en los movimientos que se envíen desde el computador.

Otro programa que se utiliza dentro del programa principal es llamado “Control ID”, el cual se encarga de asignar un ID a cada motor del robot para poder ser movido; dicho programa es mostrado



en la figura 18, y vuelve a utilizar el mismo programa que corresponde a “Bioid Send”, el cual en este caso lo utiliza para enviar el ID al proceso central.

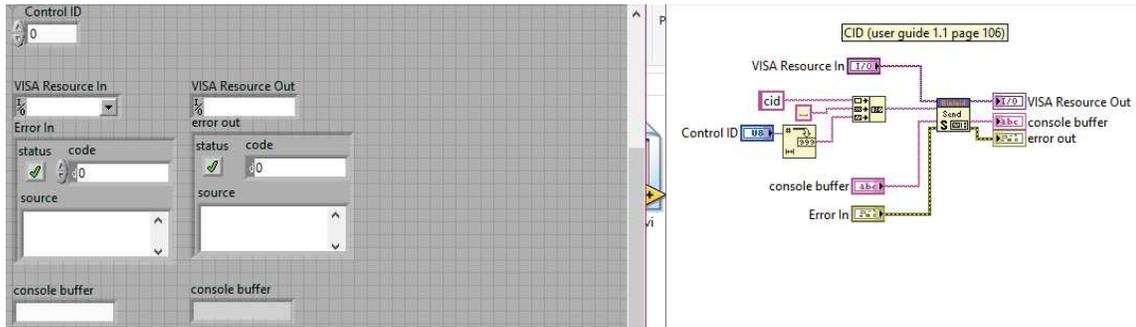


Figura 18. Programa “Control ID”.

El programa central es llamado “Go”, el cual efectúa el movimiento del robot tomando en cuenta los parámetros de entrada: ID de motor, velocidad y posición; este programa se muestra en la figura 19, el cual toma el valor del puerto conectado, velocidad, posición y datos del buffer.

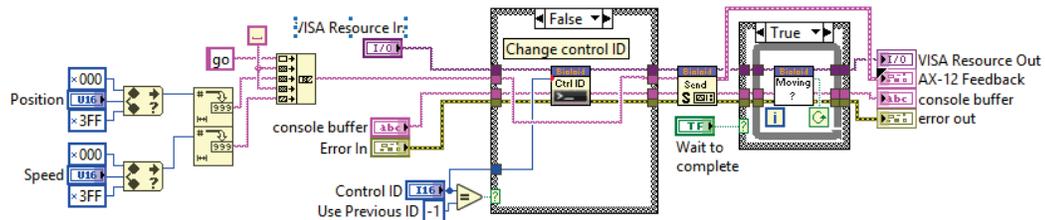


Figura 19. Programa “Go” para ejecutar comandos.

Finalmente se necesita un programa para cerrar el puerto serial cuando se finaliza la ejecución del programa, en este caso este es llamado “Bioid Close”; este programa es mostrado en la figura 20.

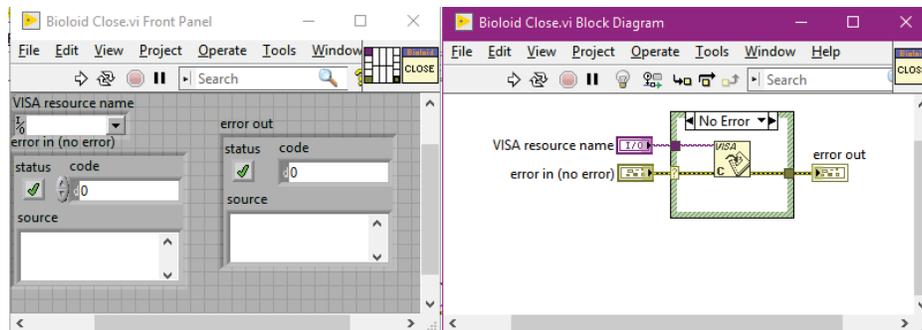


Figura 20. Programa para cerrar conexión a puerto serial.

## 5. Interfaz de control

Para el funcionamiento simultaneo de ambos dispositivos es necesaria la ejecución paralela de los programas desarrollados, la comunicación entre ellos se realiza mediante el uso de variables globales, las cuales se envían desde el programa del Kinect y se reciben en el del Bioid, de esta manera se procesan los datos y se envían las señales. La ejecución paralela permitió configura



parámetros en ambos programas en la figura 21 se presentan los parámetros establecidos en el Kinect y en figura 22 los establecidos en el programa para el Biolod.

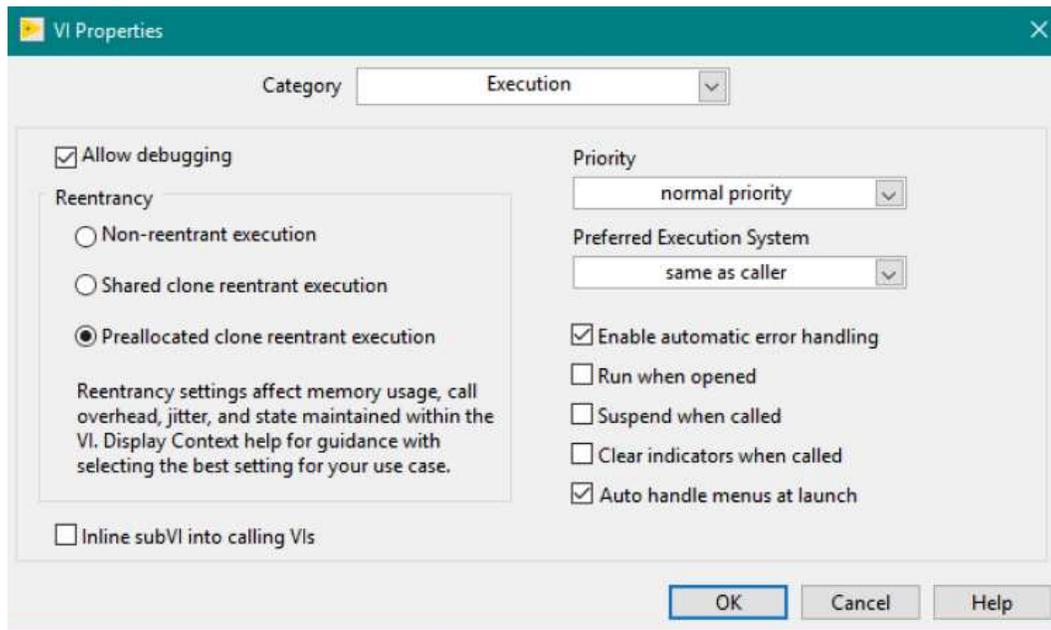


Figura 21. Ajustes para programa del Kinect.

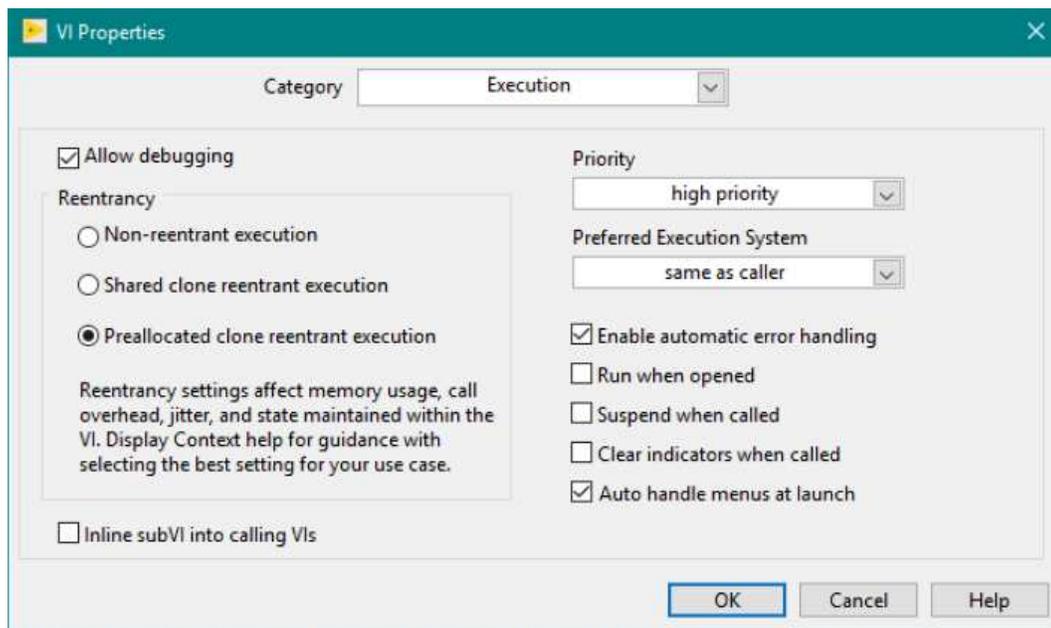


Figura 22. Ajustes para programa del Biolod.

La figura 23 presenta la interfaz virtual del programa “Kinect”, diseñada para las lecturas obtenidas del dispositivo sensor.



Figura 23. Interfaz virtual para las lecturas de las posiciones de las extremidades.

La interfaz del programa “Bioloid” desarrollado para controlar las posiciones de las extremidades del humanoide se presenta en la figura 24.



Figura 24. Interfaz de control para las extremidades del robot humanoide.

## 6. Resultados

En el desarrollo del presente trabajo se logró establecer la comunicación entre el sensor Kinect- software LabVIEW- Robot Bioloid, demostrando una aplicación más donde los humanos son el



“control” de sistemas inteligentes como los Robots. En la figura 25 se muestra la interfaz virtual leyendo las posiciones de un usuario.

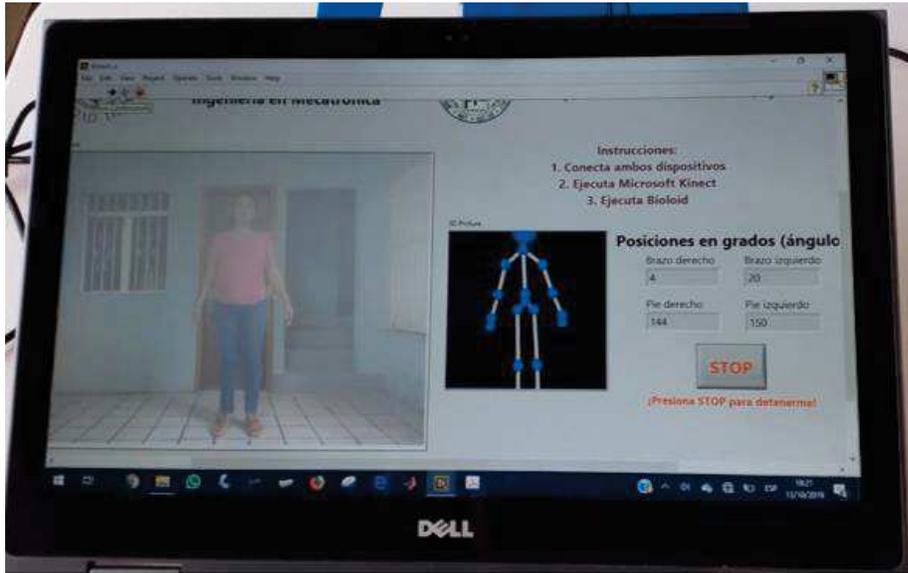


Figura 25. Interfaz virtual leyendo las señales enviadas por el Kinect.

La figura 26 presenta la interfaz de control ejecutándose para posicionar las extremidades superiores e inferiores del humanoide de acuerdo a las lecturas realizadas a través de Kinect.

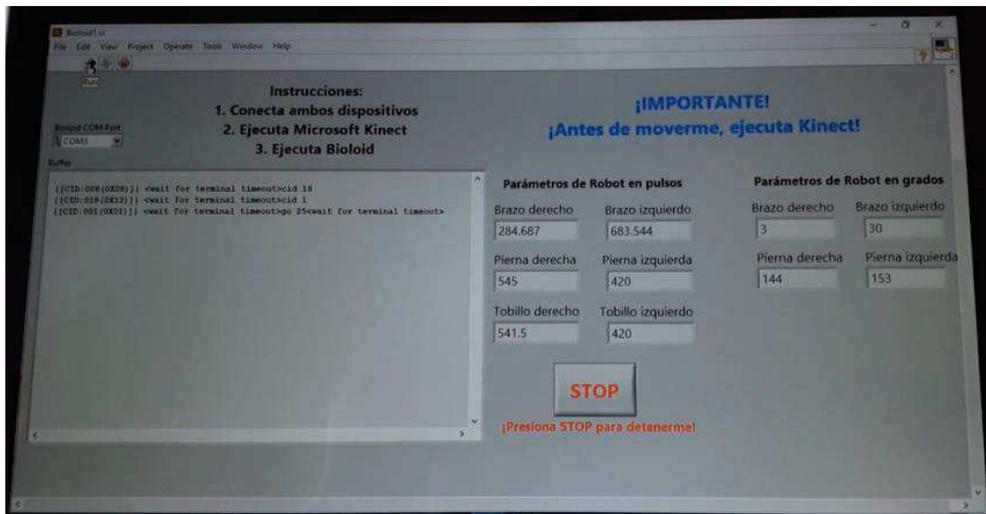


Figura 26. Interfaz enviando señales de control a las extremidades del robot humanoide.

En la figura 27 se demuestran los movimientos de brazos y piernas que realiza el robot, los cuales son establecidos por un usuario situado frente al sensor Kinect.

Demostrando que la interfaz virtual de control diseñada para el robot humanoide Bioloid, logra identificar a los usuarios y seguir los movimientos realizados por las personas a través del dispositivo Kinect utilizado como sensor.



a) Brazo derecho



b) Brazo izquierdo



c) Pierna derecha.



d) Pierna izquierda

**Figura 27. Movimientos de extremidades ejecutados por el robot humanoide.**

## 7. Conclusiones

A lo largo de los siglos, los seres humanos han intentado constantemente buscar sustitutos que puedan imitar su comportamiento interactuando en diferentes situaciones dentro de su entorno, con la finalidad de contribuir a la atención de problemas en el ámbito clínico e industrial; por lo que es importante promover y alentar el desarrollo de la investigación en el área de la robótica que contribuya al avance de la sociedad.

Este trabajo presenta un sistema con tareas motoras basadas en la imitación, el cual fue demostrado en un entorno real, logrando replicar la posición de los brazos y piernas de una persona en un humanoide de forma eficiente, sin la presencia de oscilaciones indeseables ante cambios bruscos en la posición de las extremidades; utilizando una interfaz de control basada en el uso del Kinect, en sustitución al control tradicional que incluye el robot Bioloid, logrando una interfaz más natural e interactiva. Lo cual brinda una oportunidad más, de poder utilizar sistemas robóticos para desarrollar aplicaciones en la medicina, la industria o la educación y utilizar la tecnología para el bienestar humano.

Se observó la necesidad de ejecutar los programas desarrollados de forma paralela, lo que permitió configurar parámetros en los VIs y acceder a la configuración de ejecución del programa,



para indicar el nivel de procesamiento a utilizar y aprovechar las capacidades del ordenador, equipo que influye en la velocidad de respuesta del sistema.

Como trabajo futuro se planea la obtención del movimiento del resto del cuerpo, mediante un procedimiento similar y considerando la aplicación de otro dispositivo de visión para leer las posiciones del cuerpo humano y comparar la precisión en las lecturas obtenidas.

## Referencias

- [1] Comité español de automática. *“El libro blanco de la robótica en España”*, CEA - GTRob con subvención del MEC, España, 1ª. Edición, 2011.
- [2] Mihelj M., Bajd T., Ude A. *“Robotics”*, Springer, Suiza, 2ª Edición, 2019.
- [3] Vadillo G., Bucio J., Romero A., Guerrero K. y Navarro J. *“Robótica y ética”*, Revista Digital Universitaria (rdu). Vol. 21, No.1, México 2020.  
DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2020.v21n1.a2>
- [4] Vázquez J., Santoyo M., Martínez E., Camarillo K., Pérez G., Padilla J. y Cacique V. *“Control por Visión de Robots Humanoides para FIRA Roboworld Cup 2013”*, Congreso Mexicano de Robótica COMROB, Asociación Mexicana de Robótica AMROB, Colima, México, 2013.
- [5] Pfeiffer S. *“Guiado gestual de un robot humanoide mediante un sensor Kinect”*. Facultad de Informática de Barcelona, 2011.
- [6] Jiménez R., Espinosa F. y Amaya D. *“Control de movimiento de un robot humanoide por medio de visión de máquina y réplica de movimientos humanos”*, INGE CUC, Vol. 9, No. 2, pp. 44–51, 2013.
- [7] Posada J., Villanueva J., Castillo M., y Molina S. *“Control de un brazo robótico usando hardware Kinect de Microsoft”*. PROSPECTIVA, ISSN 1692-8261, Vol. 11(2), pp. 88-93, 2013.
- [8] Xing G., Tian S., Sun H., Liu W., & H. Liu. *“People-following system design for mobile robots using kinect sensor”*, Published in: Control and Decision Conference (CCDC), 25th Chinese, pp. 3190-3194, 2013.
- [9] Rodríguez C. *“Implementación de Técnicas de Visión Artificial en un Robot Humanoide para beneficio de Niños con Déficit de Atención e Hiperactividad a Través de un Ejercicio psicomotriz”*, Facultad de Informática y Electrónica, Ecuador, 2018.
- [10] Sari P. *“Programación y Evaluación de la Aceptación de un Robot Humanoide como Asistente para Terapias Físicas a Adultos Mayores”*. Universidad de Azuay. Cuenca, Ecuador, 2019.
- [11] Acurio S., Robayo D., Acurio D., Amancha P. y Cárdenas A. *“Human upper limbs movements imitation in a humanoid robot using a natural user interface”*, Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información, N.º E22, 08, pp. 108-119, 2019.
- [12] Pfeiffer S. *“Guiado gestual de un robot humanoide mediante un sensor Kinect”*, Facultad de Informática de Barcelona, 2011.
- [13] Robotis. *“Bioloid Premium Robot Kit”*. Estados Unidos de América: *Robotshop*. Disponible en: <https://www.robotshop.com/en/robotis-bioloid-premium-robot-kit.html>
- [14] National Instrumets. *“Labview”*. Disponible en: <https://www.ni.com/es-mx.html>



# Sistema Electrónico para Monitorear la Rehabilitación del Síndrome de Hombro Doloroso

✉ Díaz Hernández Octavio<sup>1</sup>, Ruíz García Esteban<sup>2</sup> y Popoca Plutarco Carlos Orlando<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>3</sup> Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México

✉<sup>1</sup> zidh@hotmail.com

## Resumen

*El presente trabajo se enfoca en la implementación de un dispositivo que permite monitorear la rehabilitación de pacientes que han sufrido síndrome de hombro doloroso, el cual es una lesión frecuente en México. En primer lugar, se ha escrito la problemática de la terapia de rehabilitación y a lo que se enfrentan los médicos especialistas. El principal problema a resolver es que los pacientes se desmotivan de su terapia, debido a la falta de supervisión o seguimiento del terapeuta y con este dispositivo se puede disminuir ese problema ya que el paciente es monitoreado constantemente, además de que se registran los movimientos de forma cuantitativa y hace más objetiva la valoración, Posteriormente se describe al dispositivo para monitorear la rehabilitación del hombro, se mencionan algunos dispositivos que se encuentran de forma comercial para la rehabilitación del hombro, en este trabajo también se plantean los movimientos que puede detectar el dispositivo, los diagramas de flujo utilizados, así como los sensores y demás componentes utilizados en su diseño. En los resultados, se muestra el recopilado de los datos obtenidos para poder analizarlos de forma individual y posteriormente compararlos entre sí, de igual forma se muestran las figuras de cada movimiento realizado y una comparación entre dos personas (una sana y otra con lesión de hombro). En las conclusiones se analizó si el dispositivo cumple o no con el objetivo del trabajo propuesto, también se plantea trabajo a futuro donde se aborda la posibilidad de mejoras para el dispositivo actual y posibles variaciones del dispositivo y diversificación en su uso, recordando que el tema de la telemedicina, implícito en este trabajo, es un área de oportunidad actual.*

**Palabras clave:** Monitoreo auxiliar en la rehabilitación, Telemedicina, Síndrome de hombro doloroso.

## 1. Introducción

El hombro es la articulación con mayor movilidad de todo el cuerpo, gracias a ello es posible realizar movimientos diversos y complejos, que van desde cargar y mover objetos hasta actividades deportivas como pueden ser: levantamiento de pesas, baloncesto, béisbol, natación, entre otras. Su gran movilidad se debe a su constitución física la cual consta de Huesos, Articulaciones, Músculos, Ligamentos, Tendones, Cartílagos y Bursas. [1]

“La Rehabilitación es un proceso global y continuo de duración limitada” [2] Después de sufrir alguna lesión física es común que el paciente se vea reducido en sus capacidades físicas, en comparación al estado óptimo que tenía antes de sufrir dicha lesión, para que el paciente pueda recuperar estas capacidades después de la lesión es necesario llevar un proceso de rehabilitación adecuado. “La rehabilitación y la habilitación son procesos destinados a permitir que las personas con discapacidad alcancen y mantengan un nivel óptimo de desempeño físico, sensorial, intelectual, psicológico y/o social. La rehabilitación abarca un amplio abanico de actividades, como atención médica de rehabilitación, fisioterapia, psicoterapia, terapia del lenguaje, terapia ocupacional y servicios de apoyo.” (OMS) [3], y para lograr este objetivo se cuenta con la ayuda de diferentes tipos de



rehabilitación entre las que encontramos las siguientes: Agentes Físicos, Rehabilitación Psicológica, Prótesis, Ortesis y Ejercicios Terapéuticos [4].

Rehabilitación de Hombro doloroso. Como se mencionó anteriormente el hombro es la articulación del cuerpo con mayor rango de movilidad haciéndola susceptible a diferentes tipos de lesiones, siendo una de ellas el síndrome de hombro doloroso, este es un padecimiento ocasionado por diferentes tipos de lesiones, entre las lesiones más frecuentes que lo ocasionan encontramos la bursitis de hombro, la tendinitis del manguito de los rotadores y el pinzamiento subacromial. Es una lesión bastante frecuente sobre todo en deportes como la natación, béisbol, tenis levantamiento de pesa, en trabajos y actividades que exigen un uso repetitivo de movimientos del brazo por encima de la cabeza [5].

Dependiendo el grado de la lesión el médico junto con el fisioterapeuta puede recomendar diferentes tipos de tratamientos, estos pueden ir desde el reposo de las actividades que ocasionan el dolor, hasta la cirugía para corregir problemas mayores, sobre todo cuando el manguito de los rotadores sufre una ruptura. Cualquiera que sea el caso es necesario el tratamiento farmacológico para disminuir la inflamación y el dolor, adicional a esto es recomendable seguir una rehabilitación con ejercicios terapéuticos, que dependiendo el grado de la lesión sirven para no perder o recuperar fuerza, movilidad y elasticidad del miembro afectado, en nuestro caso el hombro [5,6].

Existen diversos y variados tipos de ejercicios terapéuticos, para tratar el síndrome de hombro doloroso, estos ejercicios pueden ser pasivos, activos o activos resistidos y son una mezcla de diferentes tipos de movimientos, entre los cuales podemos encontrar los siguientes movimientos: a) Rotación Externa, b) Rotación interna, c) Caminado por Pared de dedos o escalerilla de dedos, d) Abducción y Aducción del Hombro, y e) Flexión y Extensión del Hombro [7-10].

Estos dispositivos tienen la intención de ayudar al paciente en su rehabilitación, sin embargo tanto el paciente como el médico no tienen una idea real de cuál ha sido el avance o de si los ejercicios se han realizado de manera correcta, pues los dispositivos están enfocados en facilitar y apoyar la recuperación del movimiento del hombro, pero no cuentan con una parte electrónica para poder medir y contabilizar los ejercicios realizados de manera correcta por el paciente, haciendo difícil evaluar el avance real en la rehabilitación. A pesar de que algunos de estos dispositivos si cuentan con una parte electrónica y otras funciones tienen el inconveniente hasta el momento de no ser portátiles, debido a su tamaño y en algunos casos su costo. Al hablar de equipo especializado es normal que el costo llegue a ser elevado, por lo cual estos equipos en muchas ocasiones solo se encuentran en las clínicas de rehabilitación y casi siempre solo los encontramos en clínicas con una alta especialización en rehabilitación.

La rehabilitación es un proceso de duración limitada, por este motivo y tomando en cuenta el costo de los dispositivos, es poco usual que algún paciente adquiera uno o varios de los mismos para uso personal. Por lo tanto es normal que la rehabilitación se efectuó directamente en la clínica, donde se cuenta con este equipo y con un fisioterapeuta el cual apoya al paciente para realizar su rehabilitación, pero por lo ya expuesto anteriormente, es común que entre una y otra sesión presencial transcurra un tiempo considerable, que puede ir desde unos días, hasta semanas o meses, por esta razón en las primeras sesiones presenciales al paciente se le instruye en la forma de realizar sus ejercicios de rehabilitación desde casa, haciendo de esta manera que no necesite estar en presencia de un fisioterapeuta para poder continuar con su proceso de rehabilitación, esto puede tener algunos inconvenientes como pueden ser:

El paciente no es experto en el tema, toda la experiencia para realizar los ejercicios en su casa es la que obtuvo del fisioterapeuta en las sesiones presenciales, debido a que cada paciente es diferente, estas instrucciones se pueden interpretar y realizar de maneras diversas, no siempre haciéndolo de la forma correcta.

Al no estar en directa vigilancia el paciente podría dejar de hacer sus ejercicios debido a la falta de tiempo, motivación o dolor para realizarlos. Adicionalmente, al no ser sesiones presenciales, no se



lleva un registro de la frecuencia con la cual se realizan los ejercicios de rehabilitación. El fisioterapeuta, al no tener un registro de la terapia realizada en casa, no tiene forma de saber el motivo real por el cual el paciente no ha recuperado la movilidad del miembro afectado.

En este trabajo se propone un dispositivo electrónico que ayude a monitorear, incentivar y mejorar la rehabilitación de pacientes que han sufrido algún tipo de lesión en el hombro, haciendo más fácil su seguimiento y la detección de lesiones por parte de los médicos. La idea principal es diseñar un dispositivo que pueda utilizarse desde casa sin necesidad de un terapeuta a través del dispositivo obtener datos que nos ayuden a graficar el movimiento del brazo. Con ayuda del dispositivo se podrá llevar un registro periódico de los días y la hora en que el paciente hace su terapia. El dispositivo ayudara a llevar un registro de las veces que el paciente realiza sus movimientos para su rehabilitación. Asimismo, se espera motivar al paciente para hacer su rehabilitación de forma regular, para seguir mejorando en la manera de realizarla y al mismo tiempo para que no abandone su terapia.

## **2. Sistema Electrónico para Monitorear la Rehabilitación de síndrome de Hombro doloroso.**

Una vez detectada la lesión de hombro doloroso, se debe tener un tratamiento y seguimiento de esta. En muchas ocasiones no se le da el seguimiento adecuado por diversos motivos, ya sea por falta de motivación del paciente para realizar sus ejercicios de rehabilitación, largos tiempos de traslado a la clínica para el monitoreo de su lesión, largos periodos de tiempo entre una consulta y otra, falta de disponibilidad de las mismas o un mal manejo de los ejercicios, teniendo como consecuencia una mala rehabilitación, agravamiento del problema, mayor tiempo de recuperación y posible reincidencia de la lesión.

En la literatura se han encontrado dispositivos comerciales para rehabilitación de hombro para apoyar al paciente a tratar las lesiones de hombro y efectuar su rehabilitación. Se mencionan algunos: a) La Rueda o Timón para Hombro [11], b) la Escalera o Barra Sueca [12] y c) la Escalera de Dedos [13], que se distribuyen desde hace décadas, existen diversos fabricantes y distribuidores algunos de estos son Fisiolab, Médica Store, Grupo *Vaell Medical*, Vida Plena, entre otros. También existen dispositivos que implementan electrónica para facilitar la rehabilitación, seguimiento y tratamiento de las lesiones de hombro son: a) Rueda de hombro digital para rehabilitación de hombro [14], b) el Equipo para rehabilitación pasiva de hombro *Fisiotek LT* [15] y c) Equipo para rehabilitación pasiva de hombro *Fisiotek HP2* [16], por mencionar algunos.

### **Movimientos posibles de detectar con el dispositivo.**

Por lo mencionado anteriormente se propone un sistema que sea capaz de monitorear la rehabilitación con la mínima intervención del médico, el cual podrá registrar los días y horas en que el paciente realiza algunos movimientos que integran sus ejercicios de rehabilitación, así mismo el dispositivo será capaz de medir y guardar los rangos de movilidad de estos movimientos, para cotejarlos con los rangos de movilidad óptimos, indicándonos de esta manera si se están realizando de forma correcta, si el paciente realmente está teniendo un avance en su recuperación, posteriormente con estos datos el medico podrá utilizarlos para realizar gráficas y evaluaciones.

Este dispositivo será capaz de medir los ángulos de ciertos movimientos que se utilizan para realizar los ejercicios de rehabilitación, estos movimientos son:

#### *Caminado por Pared de dedos o escalerilla de dedos.*

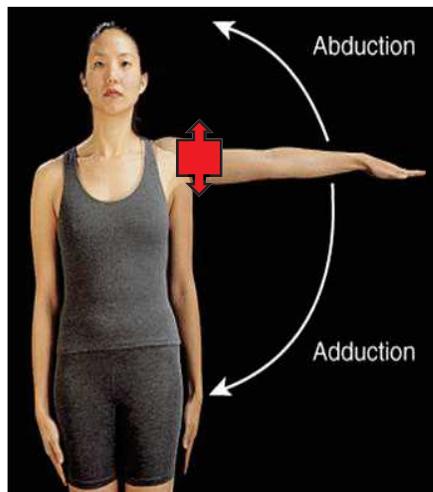
El paciente se sitúa de pie con el hombro doloroso a una distancia de entre 60 - 90 centímetros de la pared, extendiendo el brazo y colocando la yema de los dedos sobre la pared. Posteriormente el paciente debe subir los dedos por la pared hasta lograr mantener extendido el brazo (o lo más alto que le sea posible), manteniendo esta posición por unos segundos, después debe bajar los dedos por la pared y repetir de 5 a 10 veces, tiempo estimado de realización 3 minutos (figura 1) [18].



**Figura 1. Escalerilla de Dedos y la ubicación del sensor/dispositivo. Modificado de [17].**

*Abducción y Aducción de hombro.*

Se comienza con el brazo plegado al cuerpo en posición de reposo, posteriormente se comienza a subir lentamente el brazo en posición horizontal respecto al cuerpo hasta quedar a la altura del hombro, de ser posible debe subir hasta que el brazo quede por encima de la cabeza (Movimiento de Abducción), posteriormente el brazo debe descender lentamente hasta llegar a la posición original, (Movimiento de Aducción). Repetir de 5 a 10 veces, en lapsos de 5 minutos, al menos 3 veces por semana (figura 2) [18].



**Figura 2. Movimiento de Abducción y Aducción y la ubicación del dispositivo. Modificado de [18].**

*Flexión y Extensión de hombro.*

Se comienza con el brazo en posición de reposo plegado al cuerpo, después se debe ir elevando lentamente hacia el frente del cuerpo hasta quedar lo más recto posible, el brazo debe regresar a su posición original de forma lenta, a continuación, se inicia el movimiento hacia la parte posterior del cuerpo como se muestra en la Figura 3, finalmente se debe regresar el brazo a la posición original. Igual que el movimiento anterior se debe repetir de 5 a 10 veces en lapsos de 5 minutos de 3 a 5 veces por semana [19].

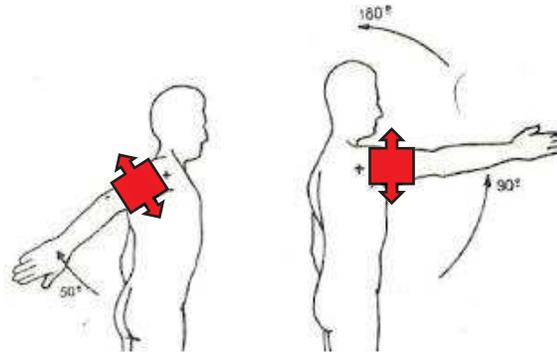


Figura 3. Movimiento de Flexión y Extensión y la ubicación del dispositivo. Tomado de [19].

### Arquitectura Lógica del Dispositivo Propuesto.

El sistema propuesto consta de 3 bloques fundamentales, que son: a) **Monitoreo**. En esta parte se tomará la señal física a través de transductores (acelerómetros, giroscopios y/o magnetómetros), b) **Procesamiento de datos**. Los datos se procesarán a través de microcontroladores en este caso arduino y el teléfono móvil, y c) **Comunicación**. Servirá para enviar los datos procesados a la APP, la cual se encargará de almacenarlos para su posterior envío, la comunicación se realizará a través de un dispositivo bluetooth. En la Figura 4 se muestra el dispositivo terminado desglosando sus componentes.

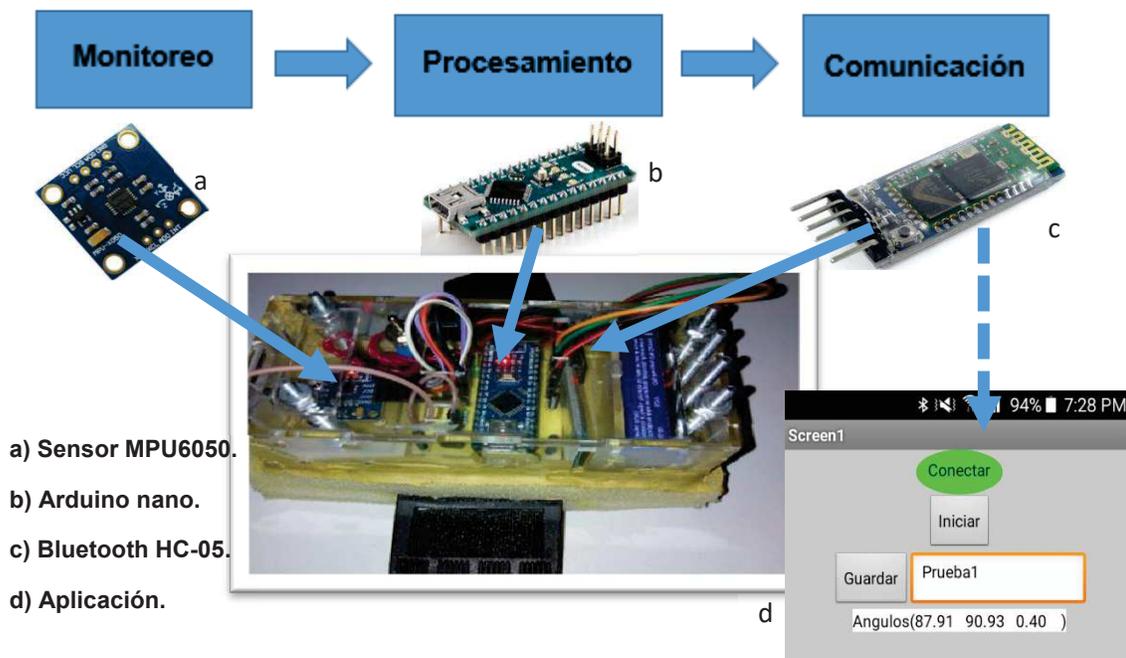
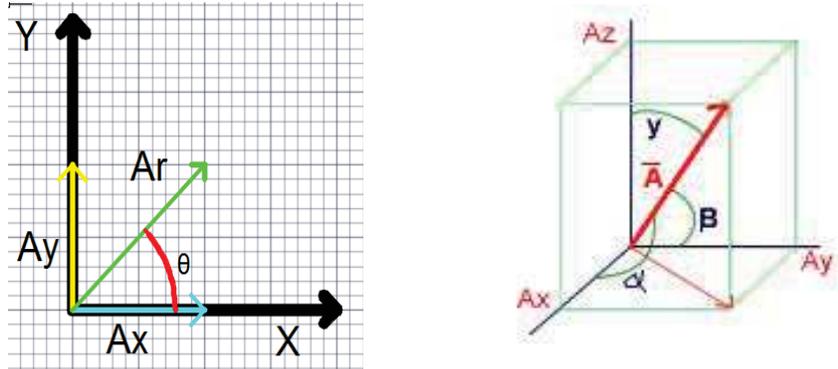


Figura 4. Modelo terminado y sus componentes.

En el dispositivo con sistema operativo (S.O) Android, ya sea Celular o Tablet, para poder cargar la Aplicación (App), se usa la aplicación de **MIT APP Inventor 2**, la cual es una plataforma se encuentra de forma gratuita en internet, en ella se pueden realizar aplicaciones para sistemas operativos Android, es muy intuitiva ya que su forma de programar es a través de bloques que se interconectan para realizar la tarea deseada. Para programar el arduino, se puede descargar su interfaz en [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc). Esta plataforma nos permite programar las diferentes tarjetas, así como también descargar actualizaciones y librerías para ciertos tipos de tarjetas de propósito específico (SHIELDS), el lenguaje de programación en el que está basado es similar a C.



El sensor consta de dos partes, que son un *acelerómetro* y un *giroscopio*. El acelerómetro entrega magnitudes físicas de aceleración en sus tres planos, debido a esto es necesario aplicar ciertas ecuaciones para poder obtener los ángulos. El giroscopio entrega el ángulo de movimiento en un instante de tiempo, por lo cual sólo se obtiene la magnitud sin aplicar ninguna ecuación. Las ecuaciones para la obtención de los ángulos del acelerómetro se calculan de la siguiente manera: dado un plano en dos dimensiones sabemos que si se aplica una aceleración en X y en Y devuelve una resultante con cierto ángulo (Ver Figura 5).



**Figura 5. Vectores con su resultante en dos y tres dimensiones.**

La resultante  $A_r$  mostrada en la Figura 5 viene dada por la ecuación 1, usando las proyecciones  $A_y$  y  $A_x$  de cada eje.

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad (1)$$

Mientras que el ángulo  $\theta$  se puede calcular con la ecuación 2.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{A_y}{A_x} \quad (2)$$

Sin embargo, los movimientos serán en tres dimensiones, por lo cual para obtener el ángulo en cada plano de movimiento nos apoyaremos en los cosenos directores. Estos cosenos sirven para determinar el ángulo de la resultante en tres dimensiones con respecto a cada una de sus componentes en sus respectivos planos, (componente en X, Y, Z). La forma de calcularlos es similar a la vista en dos dimensiones. Primeramente, se procede a calcular la resultante, a partir de las componentes vectoriales de los tres ángulos. Ejemplo para calcular la resultante  $A_r$ .

$$A_r = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (3)$$

Para obtener los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , (ver Figura 5) se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{A_x}{A_r} \quad (4)$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{A_y}{A_r} \quad (5)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{A_z}{A_r} \quad (6)$$

Para poder tener una medición más exacta de los ángulos existen diferentes tipos de filtros, siendo uno de los más precisos y conocidos el filtro de Kalman, pero tiene el inconveniente de ser demasiado robusto, haciendo impráctico usarlo en nuestro microcontrolador, por tal motivo se usará el



filtro complementario el cual es más ligero de implementar en nuestro microcontrolador, pero con una precisión y exactitud bastante aceptable. Este filtro consiste en la unión de un filtro pasa bajas para el Acelerómetro y un filtro pasa altas para el giroscopio, aplicado de la siguiente manera.

$$\text{Ángulo} = 0.98 * (\text{Ángulo} + (AG * \Delta t)) + 0.02 * AA \quad (7)$$

Donde: Ángulo = Ángulo Filtrado. AG = Ángulo Obtenido del Giroscopio. AA = Ángulo Obtenido del Acelerómetro.  $\Delta t$  = Tiempo transcurrido (en ms) desde la última vez de la aplicación del filtro, recomendado 10 ms.

El dispositivo funciona en conjunto con una aplicación para dispositivo móvil, en esta aplicación se podrá seleccionar si se es un usuario (paciente) o el médico a cargo. El dispositivo móvil inicia y solicita conectarse por bluetooth al dispositivo, el paciente selecciona su usuario de una base de datos (si no se encuentra registrado, puede escribir sus datos).

Al terminar, el paciente selecciona uno de los tres movimientos posibles de realizar, posteriormente el dispositivo móvil muestra una descripción e imágenes del movimiento. Cuando el paciente esta listo, se inicia el monitoreo.

El sensor mide los ángulos en los que se mueve el brazo, los transfiere al microcontrolador, donde los almacena para aplicar el filtro complementario y obtener los ángulos en las tres dimensiones (x, y, z), una vez obtenidos los ángulos resultantes, se transmiten vía serial hacia el bluetooth, quien a su vez los transmite a la aplicación, esto lo repetirá hasta que el tiempo del movimiento termine, cuando esto suceda se enviará una señal de termino, para que la aplicación móvil guarde el archivo con los datos del usuario.

Cada ocasión que el dispositivo móvil reciba un dato lo almacena, una vez recibida la señal de término, guarda los datos recibidos en un documento con el nombre, edad, sexo del paciente, tipo de movimiento realizado, fecha y hora, además emitirá una alerta para notificar al paciente que terminó de realizar el movimiento, posteriormente vuelve a la pantalla dos de la aplicación, donde se tendrá la opción de repetir el proceso con un nuevo movimiento y paciente o donde se dará por terminada la sesión.

En caso de ser el médico a cargo se podrá borrar la base de datos de todos los pacientes ingresando el usuario y contraseña definidos para este fin.

### **Diagramas de flujo para la aplicación.**

En la pantalla de inicio que se ha ilustrado en la Figura 32 se iniciará la comunicación, en esta "Pantalla 1" también se registrarán los nuevos usuarios o se seleccionará un usuario de la base de datos de usuarios previamente registrados (Figura 6).

Para consultar las distintas pantallas, se han colocado las imágenes correspondientes en el apéndice de este documento. Ahí se puede apreciar la secuencia en la que el usuario visualiza y realiza los distintos ejercicios de rehabilitación.

En esta pantalla (Pantalla 2) se podrá elegir si desea iniciar y así pasar a la siguiente pantalla para poder seleccionar alguno de los movimientos disponibles, o si se cometió un error al seleccionar el usuario, podrá optar por regresar a la pantalla anterior y seleccionar su usuario de forma correcta (Figura 6).

La siguiente pantalla (Pantalla 3) muestra tres opciones con los movimientos posibles a realizar, Caminado por pared de dedos, Flexión – Extensión, Abducción – Aducción, una vez seleccionado alguno nos direccionará a una nueva pantalla, si por el contrario se cometió un error al momento de seleccionar el usuario, se tendrá la opción de regresar a la pantalla anterior para corregirlo (Figura 7).

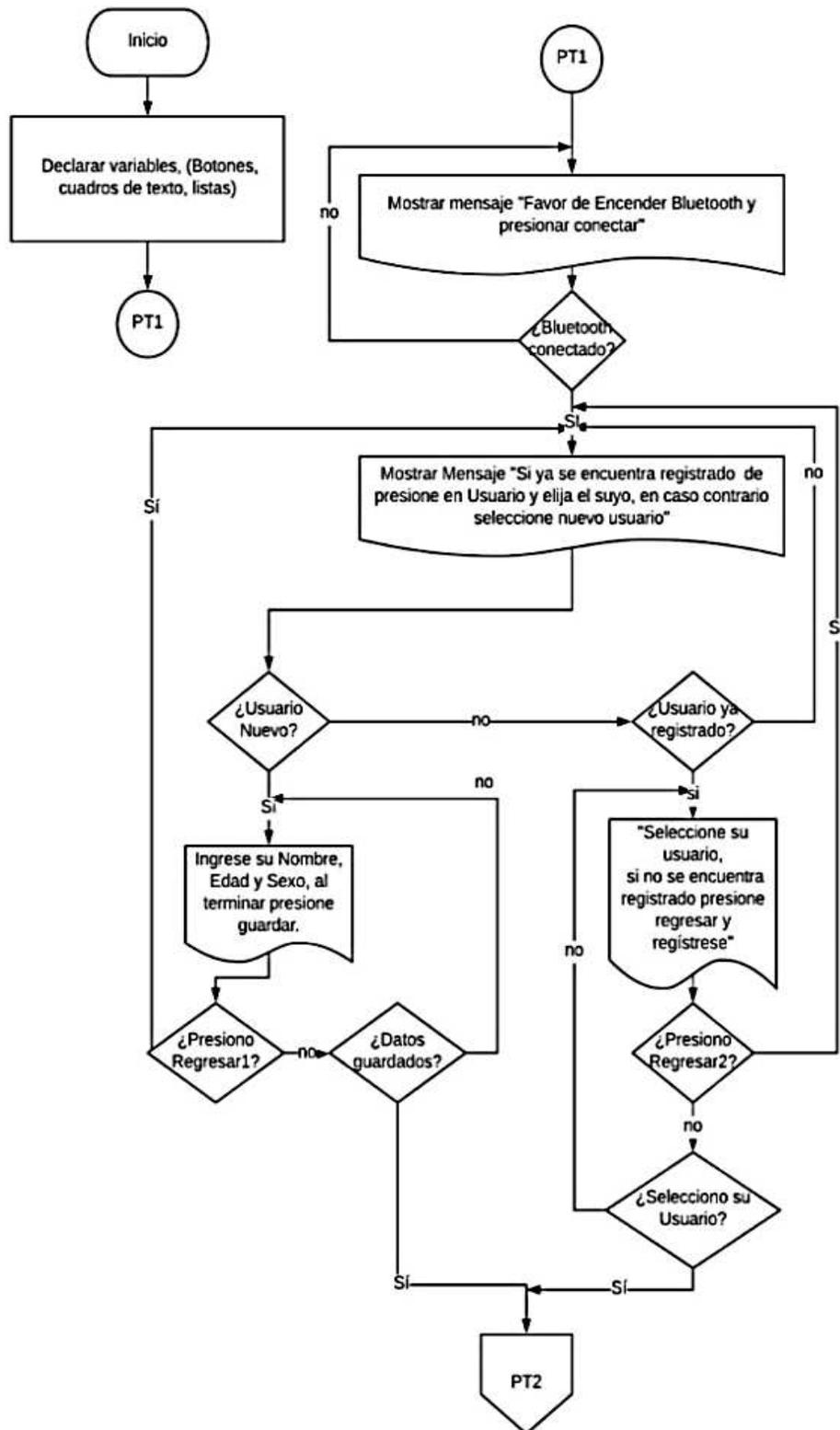


Figura 6. Diagrama para pantalla principal de la APP.

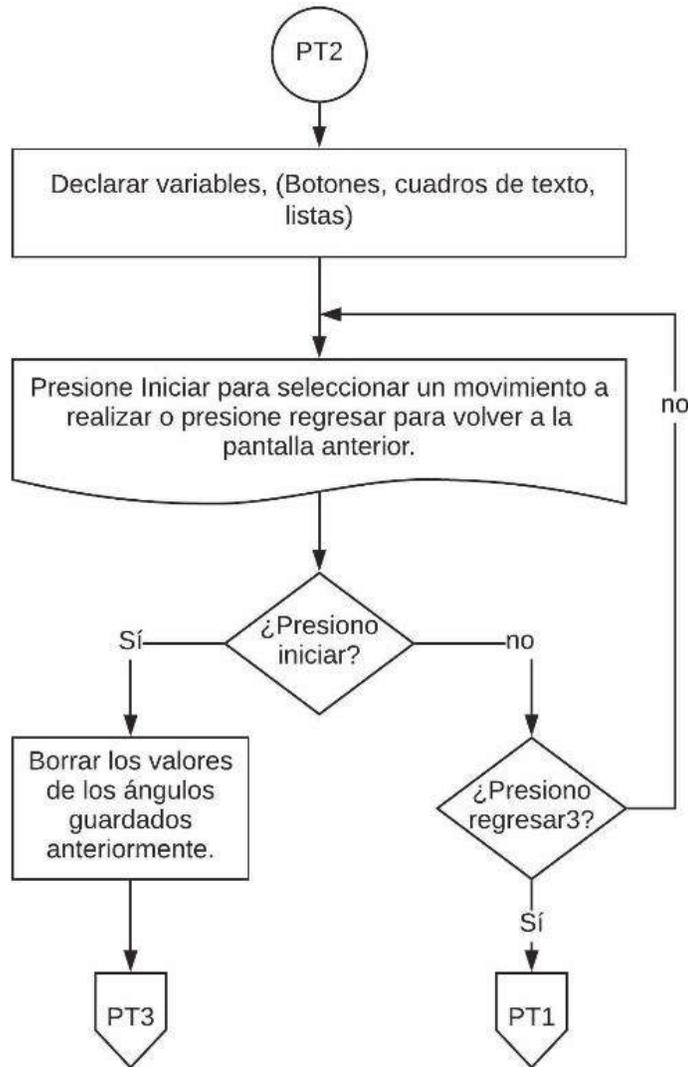


Figura 7. Diagrama de la Pantalla 2, para iniciar con los movimientos preestablecidos.

En la pantalla “Caminado por Pared de dedos” (Pantalla 4), se muestran tres botones, uno para ver la Figura de muestra acerca del movimiento a realizar, un botón para iniciar el ejercicio, el cual al presionarse enviará una señal de inicio vía bluetooth hacia nuestro microcontrolador (Arduino), con esto la aplicación comienza a recibir los datos y almacenarlos, el último botón nos regresará a la página previa en caso de querer seleccionar otro movimiento (Figura 8).

En la pantalla “Abducción – Aducción” (Pantalla 5), se muestran tres botones, uno para ver la Figura de muestra acerca del movimiento a realizar, un botón para iniciar el ejercicio, el cual al presionarse enviará una señal de inicio vía bluetooth hacia nuestro microcontrolador (Arduino), con esto la aplicación comenzará a recibir los datos y almacenarlos, el último botón nos regresará a la página previa en caso de querer seleccionar otro movimiento (Figura 9).

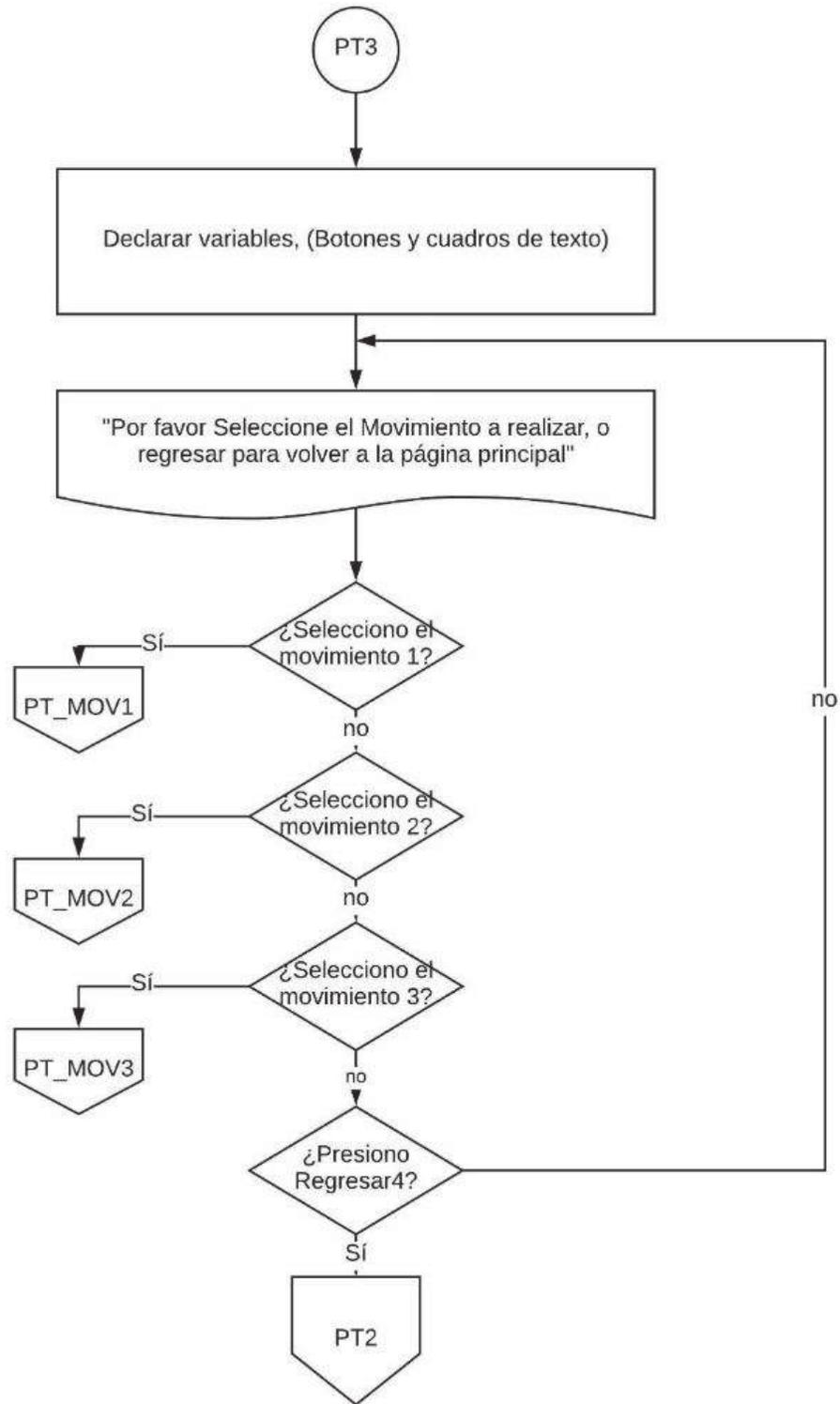
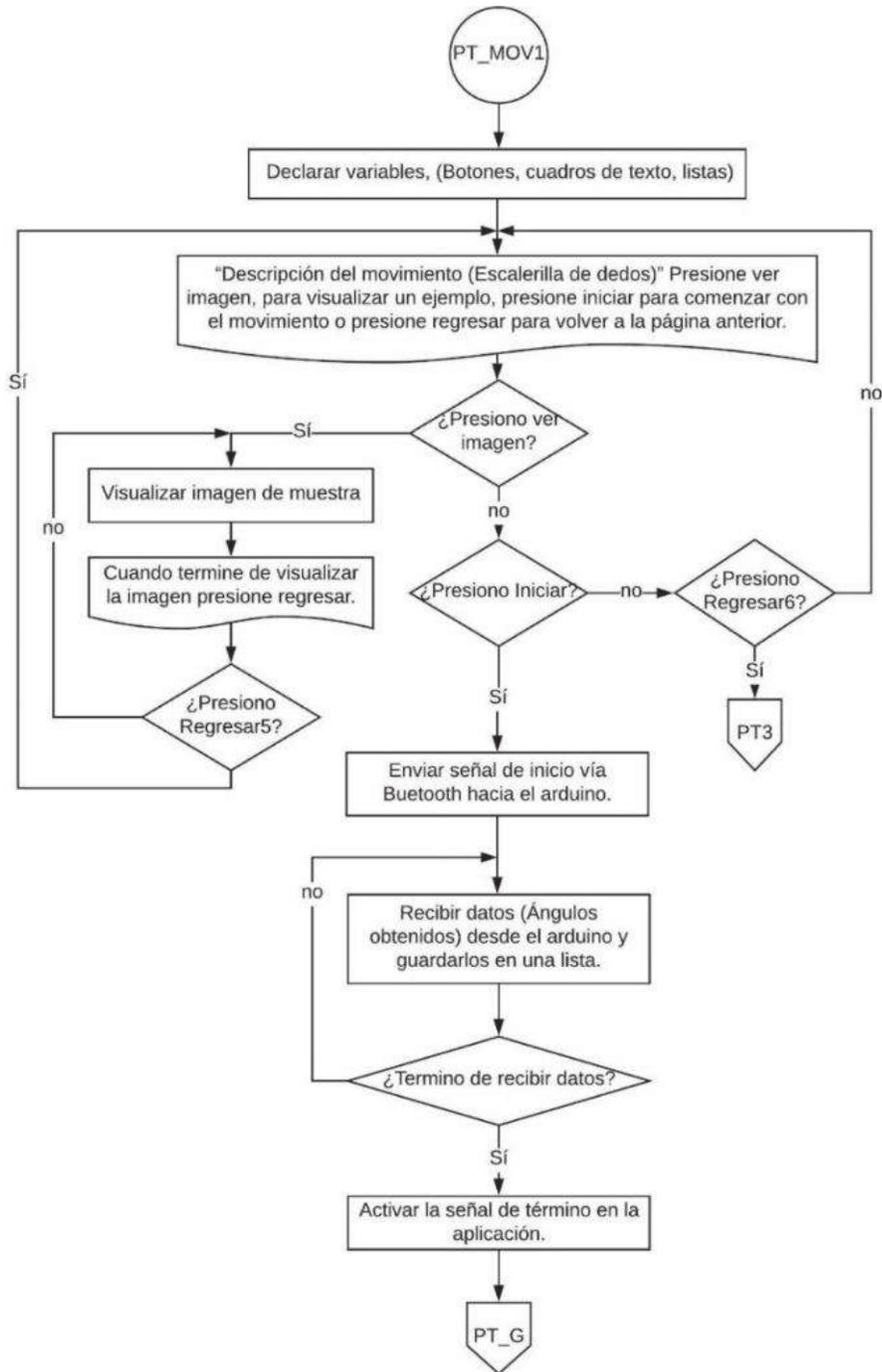


Figura 8. Diagrama para pantalla tres, selección de movimiento.



**Figura 9. Diagrama para el movimiento “Caminado por pared de dedos”.**

En la pantalla “Flexión – Extensión” (Pantalla 6), se muestran tres botones, uno para ver la Figura de muestra acerca del movimiento a realizar, un botón para iniciar el ejercicio, el cual al presionarse enviará una señal de inicio vía bluetooth hacia nuestro microcontrolador (Arduino), con esto la aplicación comenzará a recibir los datos y almacenarlos, el último botón nos regresará a la página previa en caso de querer seleccionar otro movimiento (Figura 10).

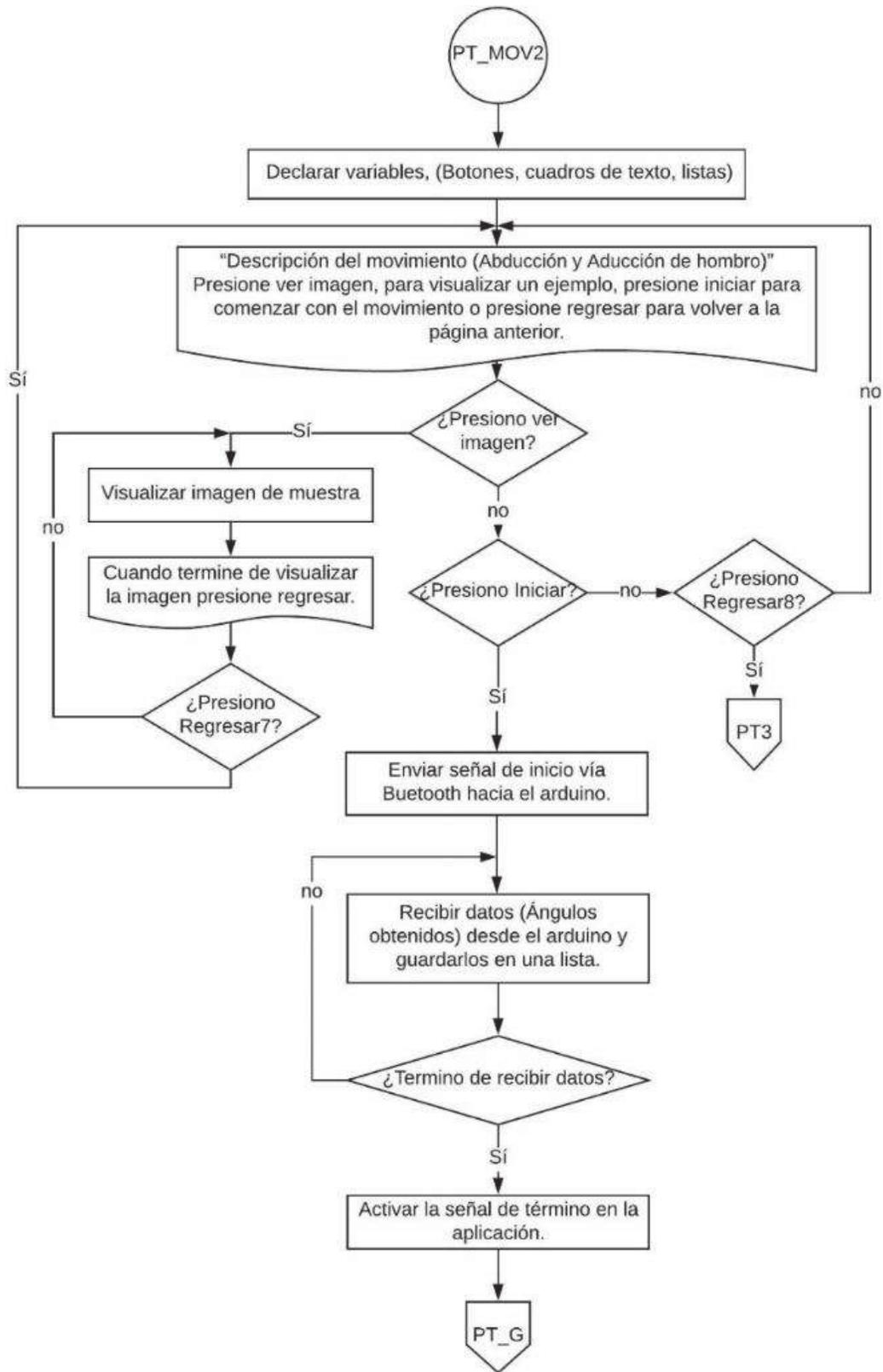


Figura 10. Diagrama para el movimiento “Abducción – Aducción”.



Esta pantalla es invisible para el usuario, pues el procedimiento que se realiza en ella es automático, una vez que la Aplicación y Arduino terminen de intercambiar datos estos se agregaran a un archivo TXT, el nombre del archivo contendrá los datos del usuario que se seleccionó en la pantalla inicial, además se agrega la fecha y hora en que fueron realizadas las mediciones, una vez terminado este proceso, la aplicación regresa automáticamente a la pantalla 2 (Figura 11). Además, se están ejecutando un procedimiento de guardado de datos (Figura 12) Y la configuración inicial del dispositivo (Figura 13).

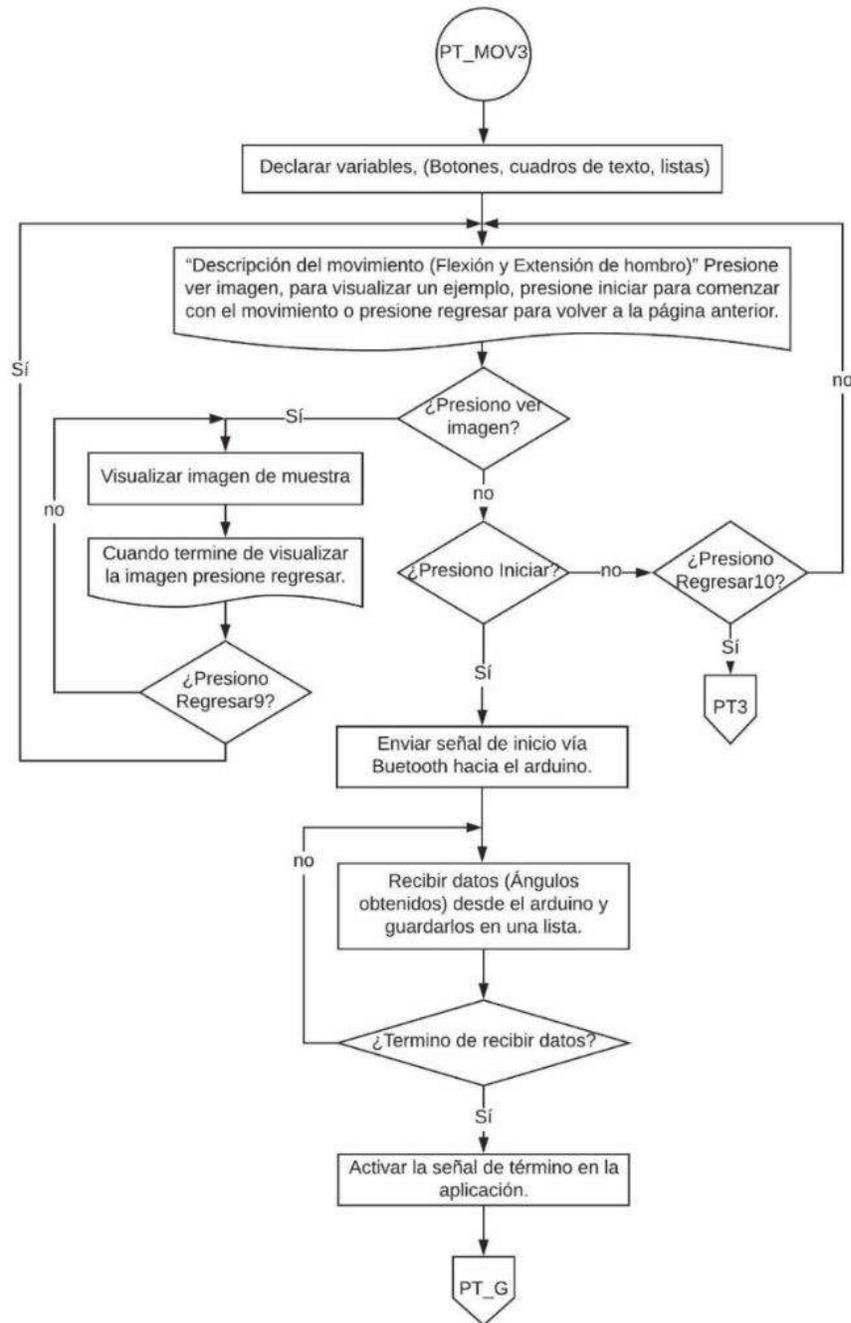


Figura 11. Diagrama para el movimiento “Flexión – Extensión”.

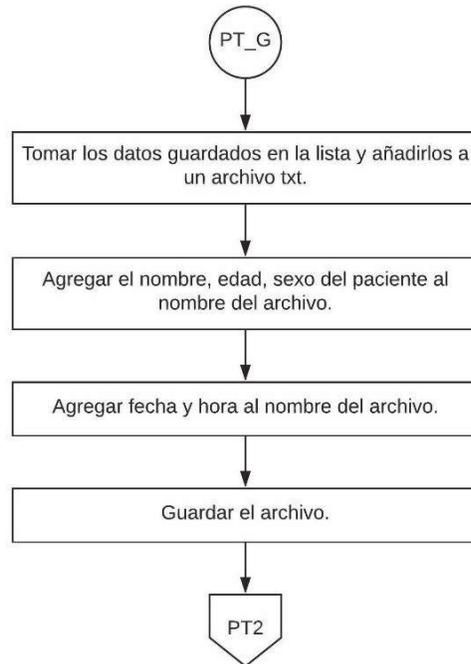


Figura 12. Diagrama del Procedimiento de Guardado de datos.

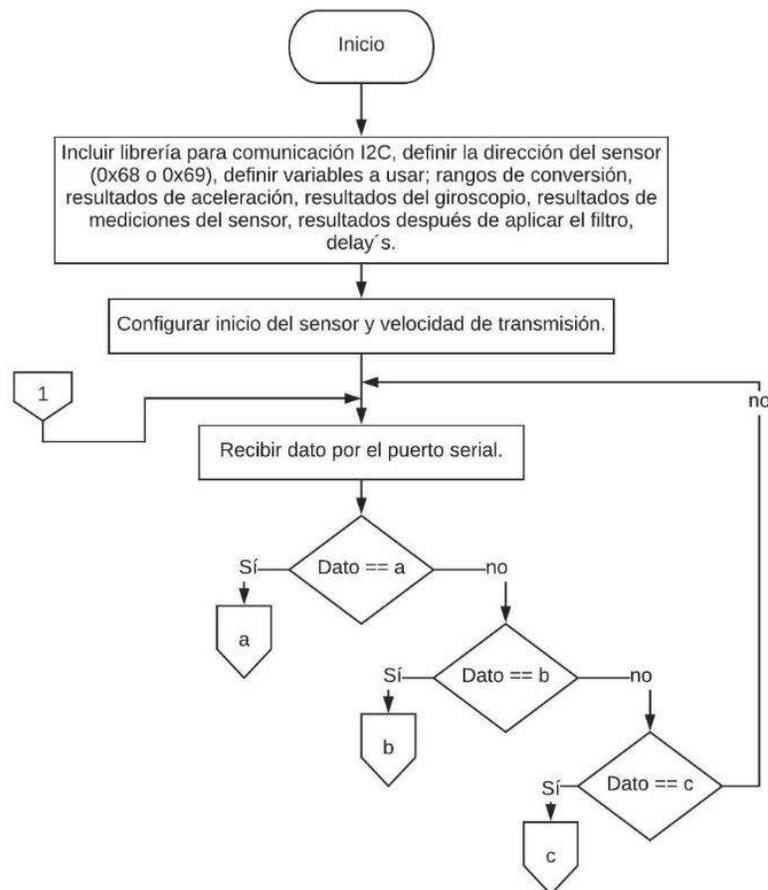


Figura 13. Diagrama para la configuración Inicial del Dispositivo.



## Diagramas de flujo para Arduino.

La programación de Arduino consta de dos partes fundamentales que son configuración y ejecución, en la primera parte se declararan las variables a utilizar, así como la configuración inicial de los sensores, comunicación I2C y comunicación Serial. Después de configurar esta parte el programa pasara a modo espera, hasta recibir un dato para poder iniciar la parte de ejecución. El modo ejecución nos direccionara a una de las tres rutinas de los movimientos programados.

En la parte de ejecución, dependiendo de la señal de inicio recibida, el programa pasara a una de las tres subrutinas; "Caminado por pared de dedos", "Abducción – Aducción" o "Flexión – Extensión" las tres subrutinas son sumamente parecidas, estas funcionan de la siguiente manera. Se inicia la comunicación I2C entre el sensor y arduino para configurar los registros a utilizar del sensor, una vez configurada e iniciada la comunicación se procede a leer los valores entregados por el acelerómetro y el giroscopio, estos valores se procesan para obtener los ángulos respectivos de cada uno, con los ángulos obtenidos se aplica el filtro complementario para tener una lectura prácticamente sin ruido y de esta forma más fidedigna, una vez que se tengan estos datos procesados, se procede con su envío vía bluetooth en intervalos de 100 mili segundos, es decir que entre cada muestra se esperará un tiempo de 100 mili segundos para tomar la siguiente lectura, esto con el fin de dar tiempo a la aplicación de procesar los datos, el proceso continuará hasta que se terminen las iteraciones necesarias para el tiempo que tarda en realizarse cada movimiento. Por ejemplo, si un movimiento tarda 2 minutos, la cantidad de iteraciones aproximadas serán 1,200, teniendo en cuenta la ecuación 8.

$$T = \frac{i*100ms}{60} \quad (8)$$

Donde  $T$  = Tiempo en segundos;  $i$  = Número de Iteraciones. Y despejando  $i$  de la ecuación 8, podemos saber el número de iteraciones necesarias para cualquier tiempo deseado.

$$i = \frac{T*60}{100ms} \quad (9)$$

Las tres subrutinas únicamente se diferencian en el tiempo que tardan en ejecución, no obstante, se decidió hacer de esta forma, para que en caso de querer modificar el tiempo que tarda en realizarse una de las tres subrutinas, no afecte la ejecución de las demás.

En las siguientes figuras se muestran los diagramas de flujo de lo que se ha programado en las distintas pantallas y acciones de la aplicación, en particular se ilustra la subrutina "Caminando por pared de dedos" (Figura 14), la de "Abducción-aducción" (Figura 15) y "Flexión-extensión" (Figura 16).

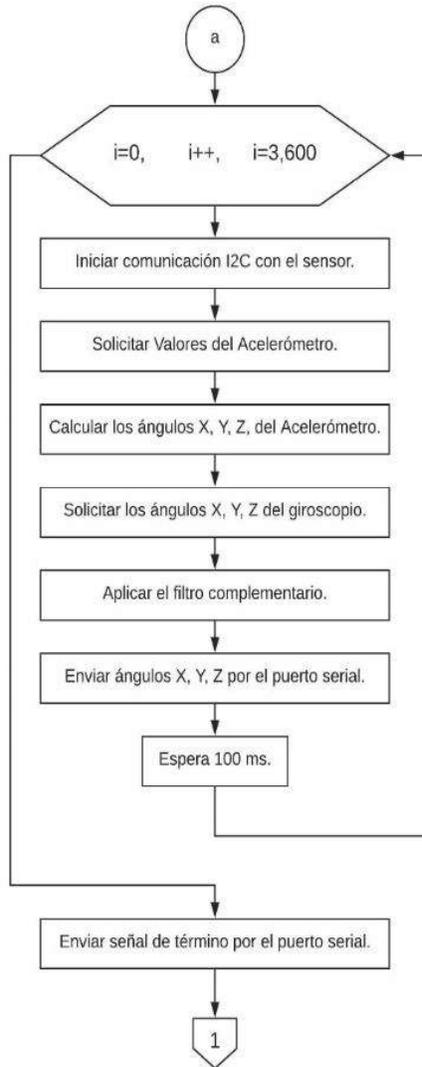


Figura 14. Diagrama para la subrutina “Caminado por pared de dedos”.

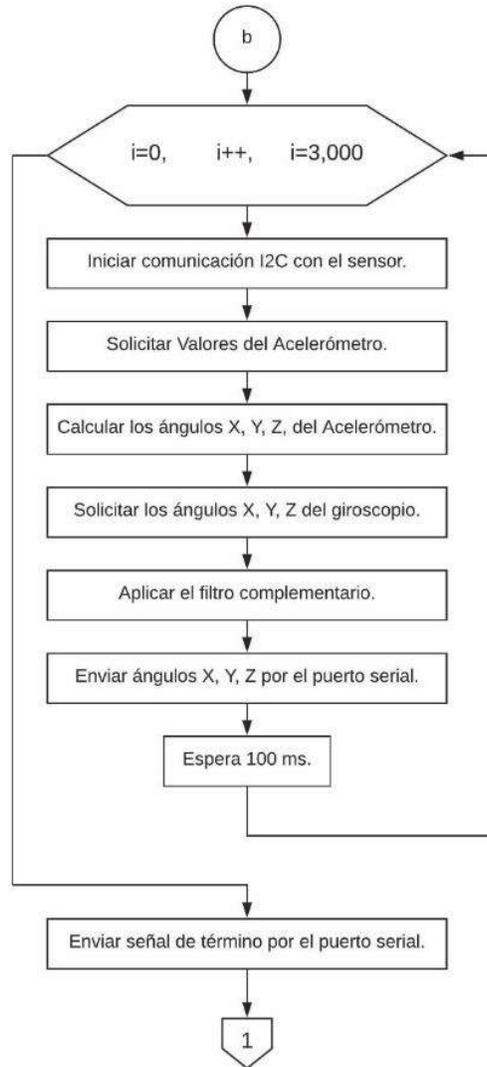


Figura 15. Diagrama para la subrutina “Abducción – Aducción”.

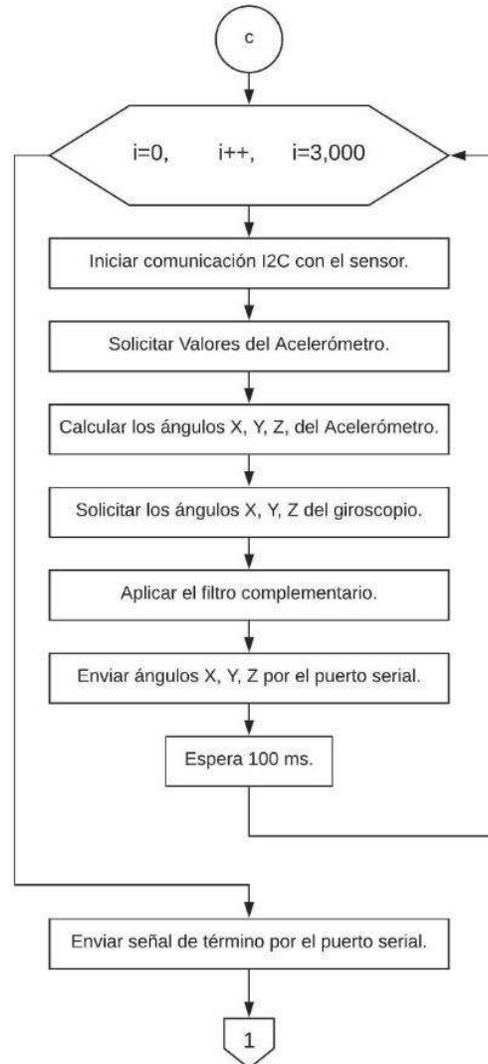


Figura 16. Diagrama para la subrutina “Flexión – Extensión”.

### 3. Resultados

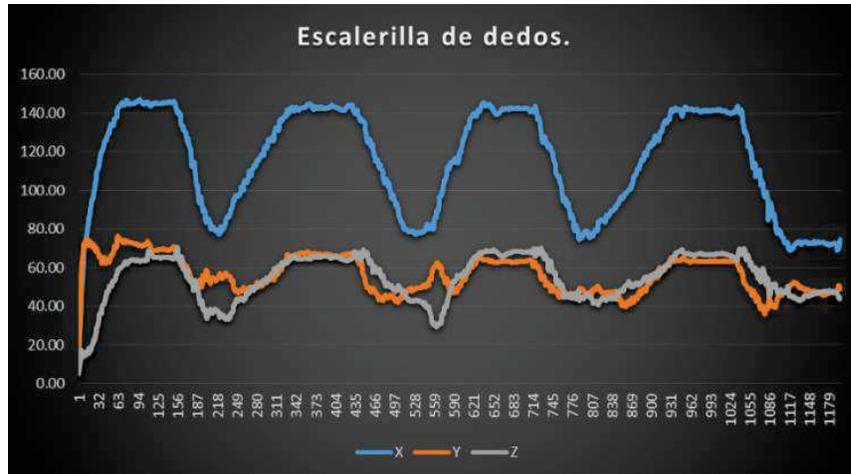
Con el dispositivo terminado y teniendo la seguridad de su funcionamiento se procedió a realizar las mediciones reales, es decir que las personas realizaron los movimientos mencionados en los apartados anteriores, se realizaron diferentes lecturas tanto del brazo derecho como del izquierdo, pero se seleccionaron solo los dos más relevantes para plasmar su análisis en este trabajo.

La primera persona es un Hombre de 28 años (de ahora en adelante paciente 1) sin lesión de ningún tipo en el brazo, se le pidió realizar primeramente el movimiento de escalerilla de dedos, obteniendo los siguientes datos.

Terminado el movimiento se procedió a obtener su gráfica la cual se muestra la Figura 17. Los intervalos de tiempo para todas las figuras se muestran en el eje horizontal y son de 100 milisegundos cada uno, mientras que el eje vertical muestra el rango de movilidad en grados para los tres ejes (X, Y, Z).



La Figura 17 muestra el recorrido que realizó el brazo izquierdo del paciente, se puede notar intervalos repetitivos en ascenso y descenso de forma paulatina con un rango máximo de movilidad de  $X=147.16^\circ$ ,  $Y=76.11^\circ$ ,  $Z=70.65^\circ$ , esto quiere decir que el brazo se encuentra en una posición por encima de la cabeza lo que a su vez nos indica que el ejercicio se está realizando de manera correcta.



**Figura 17 Resultados del movimiento escalerilla de dedos para el brazo izquierdo del paciente 1.**

El segundo movimiento realizado por el paciente 1 fue Abducción – Aducción del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

En esta figura 18 se observa cómo el movimiento en X genera una señal parecida a una senoide, debido a que va desde el reposo plegado al cuerpo hasta por encima de la cabeza, los demás ángulos siguen trayectorias similares debido a que el brazo tiene un desplazamiento menor en esos planos. También podemos observar variaciones bruscas entre los 397 y 505 milisegundos, pues en ese intervalo se le pidió al paciente que moviera el brazo de forma más rápida con el fin de captar este tipo de movimiento y determinar si el dispositivo responde a cambios bruscos de posición.



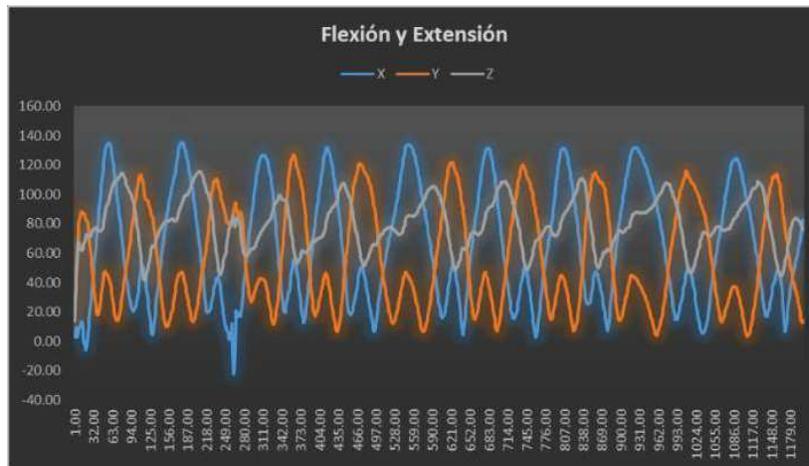
**Figura 18 Resultados del movimiento Abducción – Aducción para el brazo izquierdo del paciente 1.**

El último movimiento que se realizó por parte del paciente 1 fue el de Flexión – Extensión del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Con los datos obtenidos se procedió a graficar el último movimiento realizado por el paciente 1.



La última gráfica del paciente 1 (Figura 19) muestra valores negativos, los cuales se deben a que el brazo pasa por la parte posterior del cuerpo haciendo que el movimiento en X exceda los 180 grados, de ahí estos datos.



**Figura 19 Resultados del movimiento Flexión – Extensión para el brazo izquierdo del paciente 1.**

El segundo paciente una mujer de 41 años (de ahora en adelante paciente 2) diagnosticada con pinzamiento subacromial y tendinitis, realizó los mismos ejercicios obteniendo los siguientes datos para el primer ejercicio, Escalerilla de dedos (figura 20).



**Figura 20 Resultados del movimiento escalerilla de dedos para el brazo izquierdo del paciente 2.**

En el caso del paciente 2 para este movimiento los rangos de movilidad máximos son;  $X=101.30^\circ$ ,  $Y=76.46^\circ$ ,  $Z=69.10^\circ$ , lo que indica que el brazo no logra alcanzar una altura sobre la cabeza, por lo cual el movimiento del brazo no es lo esperado.

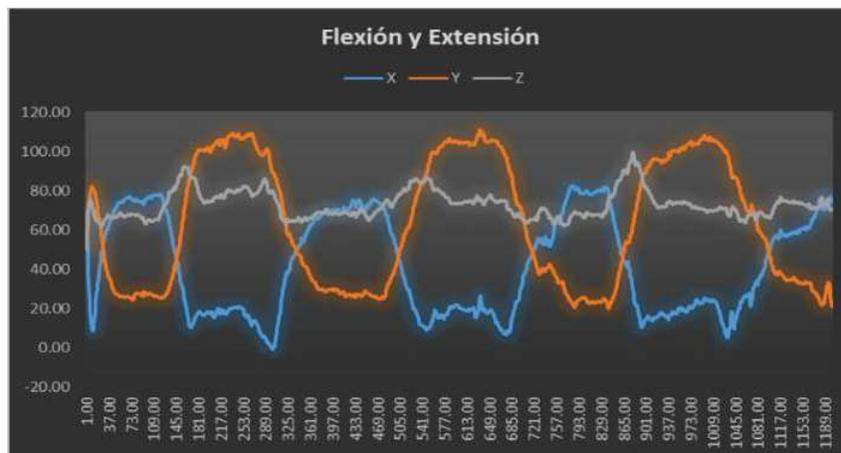
Terminado este ejercicio, el paciente 2 procedió a realizar el siguiente movimiento Abducción – Aducción, del cual se obtuvieron los datos de la figura 21.



**Figura 21 Resultados del movimiento Abducción – Aducción para el brazo izquierdo del paciente 2.**

En el caso de este movimiento se observa que el movimiento en todos los ángulos rara vez excede los  $90^\circ$ , esto indica que el brazo no puede sobrepasar el nivel del hombro del paciente, quedando siempre por debajo de los  $90^\circ$ .

El último movimiento realizado por el paciente 2 fue Flexión – Extensión, del cual se obtuvieron los datos de la figura 22.



**Figura 22 Resultados del movimiento Flexión – Extensión para el brazo izquierdo del paciente 2.**

En este último movimiento el paciente no fue capaz de realizar un movimiento por detrás de su cuerpo ni por el frente más allá de su cabeza.

Por último, se procedió a comparar los datos obtenidos de ambos pacientes, iniciando con el movimiento de escalerilla de dedos.

Al comparar los movimientos de ambos pacientes en el ángulo X (plano en el cual se está desplazando el brazo) es notoria una deficiencia en el movimiento del paciente 2 en más de  $40^\circ$ , llegando su movilidad máxima cerca de los  $100^\circ$  y su movilidad mínima cerca de los  $60^\circ$ , también se observa un mayor tiempo de ejecución de cada movimiento, todo esto muestra que el paciente 2 tiene una movilidad limitada y dolorosa (por referencia de la paciente), lo cual le impide elevar su brazo de manera paulatina y constante, además del impedimento de mantenerlo a  $90^\circ$  por lo cual tiende a bajar su brazo para descansar entre cada repetición. La figura 23 muestra el movimiento en X, la figura 24 muestra el movimiento en Y y la figura 25 muestra el movimiento en Z.



Figura 23 Comparación entre el movimiento escalerilla de dedos entre el paciente 1 y 2.



Figura 24 Comparación entre el movimiento escalerilla de dedos entre el paciente 1 y 2.



Figura 25 Comparación entre el movimiento escalerilla de dedos entre el paciente 1 y 2.



Las siguientes figuras corresponden al movimiento de Abducción – Aducción en X (figura 26), en Y (figura 27) y en Z (figura 28).



Figura 26 Comparación entre el movimiento Abducción – Aducción entre el paciente 1 y 2.



Figura 27 Comparación entre el movimiento Abducción – Aducción entre el paciente 1 y 2.



Figura 28 Comparación entre el movimiento Abducción – Aducción entre el paciente 1 y 2.



Por la última figura en el eje Z, se podría pensar que ambos pacientes tienen un movimiento muy similar, sin embargo recordemos que para este tipo de movimiento el brazo se desplaza en mayor medida sobre el eje X, teniendo esto en consideración se observa lo siguiente, el rango de movimiento del paciente 1 es mayor por cerca de  $50^\circ$ , el pico en el rango de movilidad del paciente 2 es de aproximadamente  $90^\circ$ , esto indica que el paciente 2 conllega dificultad a elevar su brazo a la altura del hombro. Por otro lado, aunque el número de repeticiones es similar en ambos pacientes, al no alcanzar el punto más alto el paciente 2 debería haber realizado mayor número de repeticiones, sin embargo tardó el mismo tiempo en realizar cada una llegando a una altura menor, esto es debido al esfuerzo y dolor que le ocasiona la lesión (según declaraciones del paciente).

El último movimiento para comparar entre ambos pacientes fue el de Flexión – Extensión, obteniendo las figuras 29, 30 y 31.



Figura 29 Comparación entre el movimiento Flexión – Extensión entre el paciente 1 y 2.



Figura 30 Comparación entre el movimiento Flexión – Extensión entre el paciente 1 y 2.



Figura 31 Comparación entre el movimiento Flexión – Extensión entre el paciente 1 y 2.

En este último movimiento el brazo se desplaza con mayor libertad en las direcciones de los ángulos X, Z, al realizar la comparación entre ambos pacientes nuevamente se observan varios puntos importantes y destacables, el más notorio es el rango de desplazamiento del brazo como se observa en la figura 13 y 15 el paciente 2 tiene una movilidad reducida con respecto al paciente 1, en lo que respecta al movimiento en X esta reducción es de al menos 60°, en el movimiento correspondiente al eje Z, la diferencia oscila entre los 15 y 30 grados, mientras que en el eje Y las amplitudes son muy similares. En cuanto al número de repeticiones entre ambos pacientes, es notorio que el paciente 2 toma más tiempo en realizar cada repetición, aun cuando su rango de movilidad es menor, su tiempo de ejecución es mayor.

Después de efectuar la comparación entre ambos pacientes se observa que el paciente 2 no era capaz de realizar los movimientos de forma correcta, es decir no lograba el rango máximo de movilidad, también destacó que todos los tiempos de ejecución del paciente 2 son más lentos. El paciente 1 declaró que, si bien le resulto un poco agotador ejecutar los movimientos, esto no le causó molestia, mientras que el paciente 2 declaró que le tomaba más tiempo y no podía concluir el ejercicio de forma correcta debido al dolor que le producía su lesión.

El dolor producido por la lesión del paciente 2, la falta de movimiento constante del brazo, falta de ejercicios de rehabilitación y la lesión misma han ocasionado que el paciente 2 no utilice su brazo de forma regular, ocasionando que pierda movilidad, al mismo tiempo que imposibilita al paciente 2 realizar su vida cotidiana de forma normal.

## 4. Conclusiones

El dispositivo propuesto monitorea la rehabilitación de los pacientes que sufren o han sufrido del síndrome de hombro doloroso. Con este dispositivo se conoce es el rango de movilidad del paciente, cual es el tiempo de ejecución del ejercicio, además de poder compararlos con los rangos y tiempos de ejecución de referencia y saber cuál es el “cambio” en cuanto a movilidad del hombro de un paciente consigo mismo o con respecto a lo “normal”.

El dispositivo almacena las fechas de ejecución, por lo que se puede constatar si el paciente ha realizado su terapia periódicamente y en los tiempos establecidos por el terapeuta. Con los datos almacenados se pueden obtener gráficas y comparar de forma visual los datos de sesiones pasadas, para determinar si el paciente está teniendo una mejora en cuanto a la movilidad o si no ha avanzado en cuanto a su recuperación.



Aunque en un inicio el dispositivo fue pensado únicamente para monitorear la rehabilitación del hombro doloroso, hablando con especialistas en rehabilitación, el dispositivo podría servir para mejorar la técnica actual usada por el sector de salud pública para determinar algún tipo de lesión en el hombro, ya que actualmente se utiliza un **goniómetro** (dispositivo analógico y manual), pero al ser operado manualmente puede haber errores por la inexperiencia del médico, sin embargo al implementar un método visual y automático como el nuestro, se determinan mejor los ángulos y el error disminuye.

También se observó que, en ciertas ocasiones, los tiempos de respuesta entre la aplicación y Arduino no eran exactos, aunque Arduino y la parte electrónica funcionaban a la perfección, de vez en cuando se tenían errores en la recepción de datos por parte de la aplicación, después de analizar ambas partes por separado se llegó a la siguiente conclusión. La aplicación al no estar diseñada en un lenguaje nativo de Android, limita al diseñador en varios aspectos tales como; tiempo de respuesta en recepción de múltiples datos vía inalámbrica, cantidad de interrupciones que se pueden manejar, calidad y tamaño de imágenes y videos que se pueden insertar, todo esto aunado a que, al no estar diseñada en un lenguaje nativo a la aplicación le toma mayor tiempo ejecutar cada instrucción, pues tiene que hacer uso de librerías y comandos que no necesariamente se están utilizando, sin embargo son necesarios para usar otros elementos de la misma, haciendo que la aplicación responda en algunos momentos de forma lenta, por lo cual se proponen varias soluciones a futuro.

Como primer paso se plantea mejorar la aplicación actual haciendo una migración al lenguaje nativo de Android, esto con el fin de corregir los errores presentados en cuanto a los tiempos de respuesta entre Arduino y la aplicación.

*Eliminación de la circuitería electrónica.* Se propone eliminar la parte de la circuitería electrónica (Arduino, bluetooth y sensores) haciendo una aplicación que se encargue de todo sin necesidad de componentes adicionales. Una de las desventajas de este tipo de mejora es que si falla algún sensor del dispositivo donde se instala la aplicación, la misma no funcionaría de manera correcta, teniendo que cambiar de dispositivo para poder seguir usándola. Una de las ventajas de este sistema sería que no necesita ningún componente extra para funcionar.

*Eliminación de la aplicación móvil.* Se evalúa la posibilidad de implementar un visualizador (por ejemplo una pantalla de cristal líquido, LCD) para mostrar las opciones que hasta el momento se muestran en la aplicación, tales como la solicitud de nombre, edad, sexo, además de mostrar los ángulos de movilidad, también se sugiere la implementación de una memoria (por ejemplo SD) para almacenar los datos del usuario, así como los valores angulares de los movimientos realizados. La principal ventaja de esta mejora sería que al ser modular si algún componente llega a fallar se puede cambiar de manera individual.

*Miniaturización del sistema.* Una vez logrado el punto anterior se propone una miniaturización de un tamaño no mayor a 4x5 centímetros, integrando en este espacio acelerómetros, giroscopios, magnetómetros, comunicación bluetooth, almacenamiento de datos, visualizador de datos y la batería, una vez se logre este objetivo, el dispositivo se podrá colocar en diferentes partes del cuerpo como son tobillo, muñeca, rodilla, etc. De esta manera se podría monitorear los rangos de movilidad de otras extremidades y partes del cuerpo, para determinar el tipo de lesión y en caso de llevar una rehabilitación, el grado de mejora de la misma. Con esto, el dispositivo se podría implementar como un goniómetro siendo una gran herramienta de diagnóstico para los médicos, además de seguimiento y telemedicina.

Finalmente, otra área de oportunidad es la implementación conjunta del dispositivo miniaturizado y un exoexqueleto para apoyar en la realización de los movimientos y ejercicios de rehabilitación en las primeras etapas de la rehabilitación (rehabilitación pasiva y activa asistida).



## Apéndice Pantallas del funcionamiento de la aplicación.

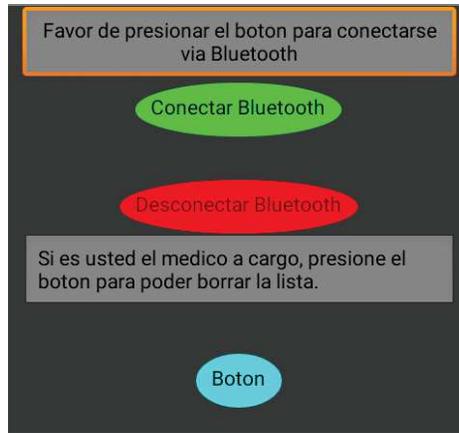
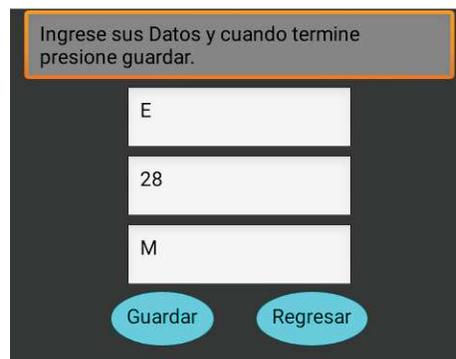


Figura 32. Pantalla 1 inicial de la aplicación.

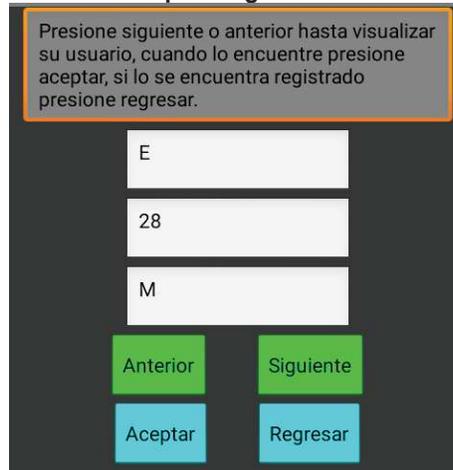


Figura 33. Pantalla 1 inicial tras conectarse via bluetooth.

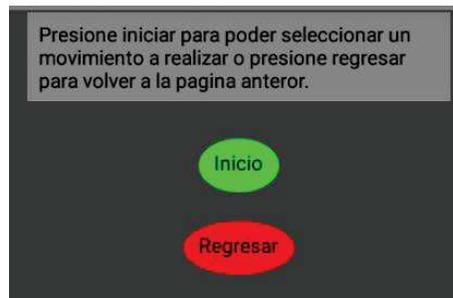




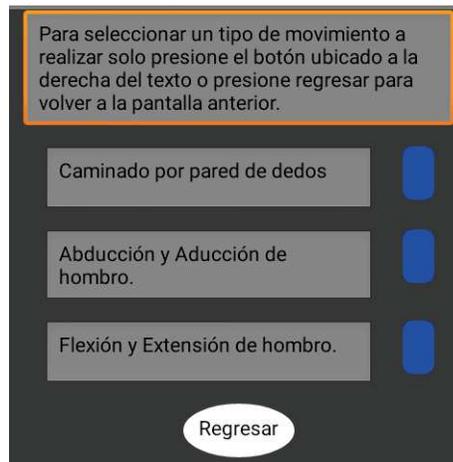
**Figura 34. Pantalla para registrar un usuario nuevo.**



**Figura 35. Pantalla para seleccionar un usuario previamente registrado.**



**Figura 36. Pantalla tras seleccionar un usuario.**



**Figura 37. Pantalla de selección de movimiento.**

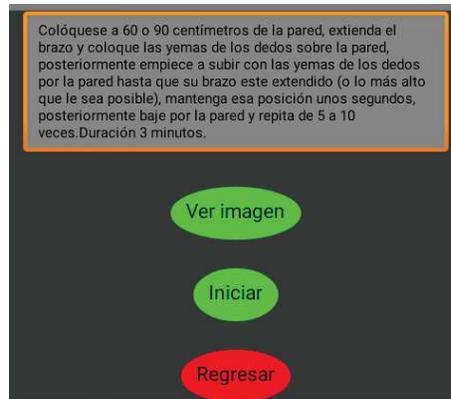


Figura 38. Pantalla del movimiento escalerilla de dedos.



Figura 39. Pantalla del movimiento Abducción – Aducción.

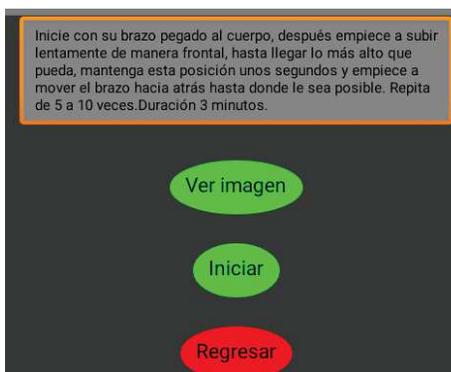


Figura 40. Pantalla del movimiento Flexión – Extensión.

## Referencias

- [1]. Kapandji, A. (2006). Fisiología Articular. España: Editorial Médica Panamericana, S.A.
- [2]. Hernández S. (s.f.). Conceptos básicos en rehabilitación. Febrero 06, 2018, de Infomed Red De Salud De Cuba Sitio web: <http://www.sld.cu/sitios/rehabilitacion/temas.php?idv=615>
- [3]. Atención médica y rehabilitación. (s.f). sin. Marzo 13, 2018, de Organización Mundial de la Salud Sitio web: <http://www.who.int/disabilities/care/es/#>
- [4]. Sastre, S. (julio 12, 2016). Lesión de hombro de nadador: Qué es, porqué es tan habitual y su tratamiento. Marzo 08, 2018, de barnaclinic Group Hospital Clinic Sitio web:



- <https://www.barnaclinic.com/blog/traumatologia-deportiva/2016/07/12/lesion-hombro-de-nadador/>
- [5]. Acosta, M., Almendárez, M., Domínguez M., Romero, P. & Vázquez, M. (Marzo 03, 2016). Diagnóstico y tratamiento del síndrome de hombro doloroso en primer nivel de atención. Septiembre 14, 2017, de Instituto Mexicano del Seguro Social Sitio web: <http://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/guiasclinicas/085GER.pdf>
- [6]. Lesiones más frecuentes de hombro. (s.f). Marzo 14, 2018, de STAR GRUPO ORTOPEDICO Sitio web: <http://stargrupoortopedico.com/89-1-Hombro+de+nadador.html>
- [7]. Ejercicios después de cirugía de hombro. (s.f). Abril 16, 2018, de STAR GRUPO ORTOPEDICO Sitio web: <http://stargrupoortopedico.com/57-1-Ejercicios%2Bdespues%2Bde%2Bcirugia%2Bde%2Bhombro.html>
- [8]. Martín, C. (Marzo 31, 2018). Diez ejercicios para rehabilitar una tendinitis en el hombro. Abril 16, 2018, de CuidatePlus Sitio web: <http://www.cuidateplus.com/ejercicio-fisico/2016/03/31/diez-ejercicios-rehabilitar-tendinitis-hombro-112207.html>
- [9]. Ejercicio después de cirugía del hombro (Shoulder Surgery Exercises). (Julio, 2009). sin. Abril 17, 2018, de OrthoInfo Sitio web: <https://orthoinfo.aaos.org/es/recovery/ejercicio-despues-de-cirugia-del-hombro-shoulder-surgery-exercises/>
- [10]. Fisioterapia, Organización EFISIOTERAPIA. (Agosto 14, 2012). GUIA PARA EL PACIENTE: TENDINITIS DEL SUPRAESPINOZO. Abril 17, 2018, de EFISIOTERAPIA Sitio web: <https://www.efisioterapia.net/articulos/guia-para-el-pacientes-tendinitis-del-supraespinozo>
- [11]. Rueda para ejercicios de hombro. (s.f). Abril 23, 2018, de Médica Store Sitio web: <https://grupomedicastore.mx/venta-de-rueda-para-hombro-en-mexico/147-venta-de-rueda-para-ejercicios-de-hombro-para-rehabilitacion-fisica-en-mexico.html>
- [12]. Barra Sueca. (s.f). Abril 23, 2018, de Vida Plena Sitio web: <http://tens-vidaplena.com/catalogos/profesionales/mecanoterapia-y-ejercicio/barra-sueca-meca0007>
- [13]. Escalerilla De Dedos. (s.f). sin. Abril 23, 2018, de Vida Plena Sitio web: <http://tens-vidaplena.com/catalogos/profesionales/mecanoterapia-y-ejercicio/escalerilla-de-dedos-meca0032>
- [14]. Rueda de Hombro Digital. (s.f). Abril 30, 2018, de Phisio Basic Sitio web: <http://phisiobasic.com/producto/rueda-de-hombro-digital/>
- [15]. Fisiotek LT. (s.f). Mayo 02, 2018, de RIMEC Sitio web: <https://www.rimec.it/es/prodotti/fisiotek-lt/>
- [16]. Fisiotek HP2. (s.f). Mayo, 2018, de RIMEC Sitio web: <https://www.rimec.it/es/prodotti/fisiotek-hp2/>
- [17]. eFisioterapia.net, Protocolo de Hombro doloroso y ejercicios (s.f.) Sitio web revisado 10 de julio de 2020, disponible en: <https://www.efisioterapia.net/articulos/protocolo-hombro>
- [18]. Tibanlombo P. (Julio 12, 2015). TIPOS DE MOVIMIENTOS DEL CUERPO HUMANO. Agosto 29, 2018, de blogspot.mx Sitio web: <http://paolatibanlomborehabilitacionf.blogspot.com/>
- [19]. Avila, A, Tapia, C & Tirado J. (Junio 24, 2011). Planos y Ejes de movimiento. Agosto 30, 2018, de blogspot.com Sitio web: <http://upperlimbbiomechanics.blogspot.com/2011/06/planos-y-ejes-de-movimiento.html>
- [20]. Guniana, E. (Diciembre 16,2011). Definición de Vector, suma, cosenos directores. Agosto 5, 2018, de blogspot.com Sitio web: <http://xyzcalc.blogspot.com/2011/10/definicion-de-vector-suma-cosenos.html>



# Sistema de Seguridad para Acceso a Instalaciones Basado en Microcontroladores

Ramírez Arriaga Karen Andrea, ✉ Ramos Arreguín Juan Manuel, Tovar Arriaga Saúl,  
Pedraza Ortega Jesús Carlos y Gorrostieta Hurtado Efrén

Universidad Autónoma de Querétaro  
✉ jsistdis@yahoo.com.mx

## Resumen

*La seguridad es esencial cuando hablamos de edificios donde se encuentran materiales costosos, como centros de cómputo, máquinas y herramientas o equipos utilizados para la investigación. Con los años, los sistemas de control de acceso utilizados en estos espacios han ido cambiando, desde sistemas muy tradicionales que usan contraseña numérica, hasta sistemas de identificación biométrica. En este trabajo, se presenta un sistema de control de acceso basado en un microcontrolador PIC, también se realiza una comparación entre dos modelos de microcontroladores PIC, y se elige la mejor opción. Este sistema tiene dos formas de reconocimiento de usuarios, por huella digital o por contraseña numérica. El reconocimiento de huellas digitales se logra mediante un sensor óptico de huellas digitales, que tiene memoria flash interna en la que se almacenan las huellas digitales. El reconocimiento por clave numérica se realiza mediante un teclado matricial y el almacenamiento de las contraseñas se lleva a cabo en la memoria EEPROM interna del microcontrolador. El hardware incluye una etapa de potencia para el uso de una cerradura eléctrica. La interfaz de comunicación con el usuario es una pantalla LCD. Este prototipo se instalará en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Querétaro, específicamente en el área de maquinados, evitando así daños a los equipos.*

**Palabras clave:** control de acceso, biometría, huella digital, microcontrolador.

## 1. Introducción

Las diferentes variantes en los sistemas de control de acceso han ido cambiando con el paso de los años, desde los tradicionales sistemas de seguridad basados en una clave numérica hasta sofisticados sistemas de identificación biométrica. Revisando diferentes investigaciones sobre prototipos de sistemas de control de acceso, se encuentra lo siguiente.

En 2013, Vergara y Verónica, desarrollan un proyecto que nace de la necesidad de brindar seguridad a los equipos del laboratorio de Telemática de la Universidad Politécnica Salesiana, con el objetivo de monitorear los equipos y tener un acceso controlado del personal autorizado. En este trabajo, se utiliza la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID). El monitoreo y la administración de los accesos se logra mediante una interfaz gráfica en el software LabVIEW [1].

Un segundo trabajo, de Chuqui (2013), en donde se involucra un sensor de huellas digitales, consiste en el desarrollo de un sistema de registro de horas de empleados, utilizando el reconocimiento de huella dactilar. La aplicación del sistema se realiza con ayuda del lenguaje de programación C# y para el almacenamiento de la información se utiliza la base de datos SQL Server 2008 [2].



Otro proyecto de Oke, et al. (2009), es un sistema cuya implementación se desarrolla en lenguaje de programación Mikrobasic con un microcontrolador PIC. El sistema consta de cuatro etapas: el lector de tarjetas, la etapa de potencia que se compone de un relé electromecánico para la puerta, la programación de un microcontrolador y la fuente de alimentación. El objetivo de este trabajo es tener un prototipo de un sistema de seguridad para puertas diseñado con el fin de permitir que un usuario privilegiado acceda sin llave, en el cual la autenticación se realiza mediante identificación por radiofrecuencia [3].

Dentro de los sistemas de acceso más recientes se pueden encontrar aquellos que involucran procesamiento de imágenes como el reconocimiento facial mediante cámaras instaladas en los accesos, como lo muestra el trabajo de Vega, et al. (2018), que se conforma de cinco nodos de lectura y un nodo de validación. En los nodos de lectura se recopila la información de la tarjeta RFID y la imagen del rostro (mediante una cámara de video) del usuario que desea acceder a un área correspondiente, para posteriormente enviarlo al nodo de validación mediante wi-fi. Cada nodo de lectura está compuesto por: una tarjeta Raspberry Pi Zero W, un lector de tarjetas RFID, una cámara de video y una interfaz de salida. El nodo de validación se compone de los mismos elementos que los nodos de acceso, más una pantalla táctil para la interfaz de usuario [4].

Como resumen a toda la investigación realizada, se tiene que las principales técnicas de autenticación de personas para los sistemas de control de acceso son el reconocimiento de huella, que consiste en que una persona coloque su dedo en un sensor de huella digital por unos segundos para ser reconocido; la tecnología RFID en la cual se utilizan ondas de radio, que generalmente es una tarjeta con una membrana electrónica, que basta con colocarla cerca del receptor para identificar el usuario; el reconocimiento facial, en el cual se coloca la cara a manera de que la cámara integrada en el sistema detecte el rostro para ser identificado; y la autenticación por medio de una clave numérica, en la que se debe ingresar una contraseña por medio de un teclado, que será diferente en cada usuario.

Actualmente es indispensable contar con un control de acceso a ciertos espacios, sobre todo si son áreas donde se encuentra equipo costoso, como lo son equipo de cómputo, material de laboratorio, máquinas y herramientas, etc. Esto se da generalmente en edificios de escuelas, centros de investigación, laboratorios de cómputo u hospitales.

Por lo anterior, es de primordial importancia tener un sistema de control de acceso que nos brinde mayor seguridad de que solamente acceden aquellos que estén autorizados. Controlar el acceso de personas a un lugar se puede lograr al tener un prototipo que pueda almacenar la información de los usuarios permitidos, ya sea con una base de datos de sus huellas dactilares o de claves numéricas, así como un identificador ID para cada usuario permitido.

A pesar de que existen muchas alternativas comerciales hoy en día, son soluciones caras y no es posible realizar adecuaciones a las mismas, de acuerdo con las necesidades particulares de cada lugar. El que desarrollemos nuestra propia tecnología de acceso, nos permite tener la versatilidad de poder personalizar el prototipo.

El principal propósito de este trabajo es diseñar el prototipo de un sistema de control de acceso a lugares específicos, basado en un microcontrolador, utilizando identificación por teclado y sensor biométrico. Esto se realiza mediante la comunicación de un sensor biométrico con el microcontrolador PIC, con opción de usar un teclado matricial, almacenando información de acceso en la memoria interna EEPROM del microcontrolador.

## **2. Marco teórico**

La implementación del proyecto está basada en un microcontrolador. A continuación, se explica más a detalle los conceptos relacionados a la investigación y al desarrollo del prototipo aquí presentado.



## 2.1 Microcontrolador

Un microcontrolador es una microcomputadora digital dentro de un circuito integrado (chip). Una microcomputadora se compone de tres bloques fundamentales: el CPU (Central Processing Unit) o microprocesador, una memoria para almacenar el programa, una memoria para almacenar datos y los periféricos. Los bloques se conectan entre sí mediante grupos de líneas eléctricas que tienen un uso común, y se denominan buses. Los buses pueden ser de direcciones, de datos o de control. El CPU es el “cerebro” de la microcomputadora y actúa bajo el control del programa almacenado en la memoria. A diferencia de los microprocesadores de propósito general, como los que se usan en los computadores PC, los microcontroladores son unidades autosuficientes y más económicas [5], [6].

El esquema básico de un microcontrolador se puede observar en la Figura 1.

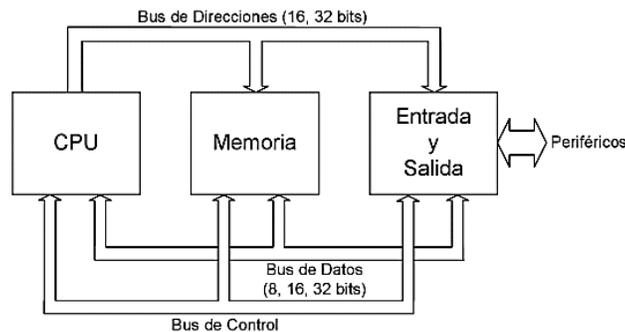


Figura 1. Esquema básico de un microcontrolador [5].

El funcionamiento de los microcontroladores está determinado por el programa almacenado en su memoria. Este puede escribirse en distintos lenguajes de programación. Además, la mayoría de los microcontroladores actuales pueden reprogramarse repetidas veces. Por las características mencionadas y su alta flexibilidad, los microcontroladores son ampliamente utilizados como el cerebro de una gran variedad de sistemas embebidos que controlan máquinas, componentes de sistemas complejos, como aplicaciones industriales de automatización y robótica, domótica, equipos médicos, sistemas aeroespaciales, e incluso dispositivos de la vida diaria como automóviles, hornos de microondas, teléfonos y televisores. Frecuentemente se emplea la notación  $\mu\text{C}$  o las siglas MCU (Microcontroller Unit) para referirse a los microcontroladores [6].

## 2.2 Tecnologías de reconocimiento de personas

Dentro de los métodos comúnmente usados en los sistemas de seguridad se encuentran las técnicas de identificación biométrica, la autenticación por contraseña y los que se basan en tecnología de radiofrecuencia.

### 2.2.1. Identificación por contraseña

La autenticación por contraseña o clave se basa en que el usuario utilice un código para identificarse, que normalmente suele ser una combinación de números o letras. Es económico, práctico y no se necesita de algún objeto físico como podrían ser unas llaves. La Figura 2 ejemplifica un sistema en el que se ingresa una clave [7].



Figura 2. Acceso por contraseña [7].

### 2.2.2. Sistemas de identificación biométrica

La biometría es una ciencia que analiza patrones, es decir, las distancias y posiciones entre las partes del cuerpo para poder identificar o clasificar a las personas. Hay varios rasgos biométricos que hoy en día se usan para tal fin, como las huellas dactilares, la cara, el iris, la mano o la retina. La biometría, y más en concreto las huellas dactilares, ya se estudiaban a finales del siglo XIX en aplicaciones forenses. En la actualidad, no solo se usa en estas aplicaciones sino en otras, como el control en los aeropuertos, en los accesos a centrales nucleares, instalaciones militares o incluso, simplemente, para acceder a edificios de oficinas [8].

- **Reconocimiento facial**

Los sistemas basados en reconocimiento facial clasifican la apariencia de la persona e intentan medir algunos puntos nodales del rostro como la distancia entre los ojos, el ancho de la nariz, la distancia del ojo a la boca, o la longitud de la línea de la mandíbula. El análisis tridimensional de la cara elimina algunos inconvenientes que se pueden tener en un reconocimiento bidimensional, como son: la iluminación y las sombras, la orientación o pose de la cara, y la variación de expresiones faciales. El reconocimiento de rostro es un método no invasivo [9]. En la Figura 3 se observan puntos comunes que se miden en la biometría del rostro.

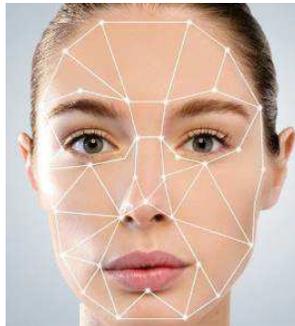


Figura 3. Biometría del rostro [10].

- **Reconocimiento de iris**

La textura visual del iris humano se determina por el proceso caótico y morfo-genético durante el desarrollo embrionario. Se ha postulado ser distintivo para cada persona y cada ojo. Es usual que se capture una imagen del iris usando un proceso de captura sin contacto. Normalmente, la captura de una imagen del iris implica la cooperación del usuario, aunque hay sistemas (en fase de prototipo en el laboratorio) para capturar la imagen del iris sin colaboración por parte del usuario. El usuario colabora ubicando la imagen en el centro del aparato de captura y asegurándose de que el iris está a



una distancia predeterminada al plano focal de la cámara. La tecnología del iris ha demostrado ser muy precisa y rápida. En la Figura 4 podemos observar el esquema del ojo humano [8].

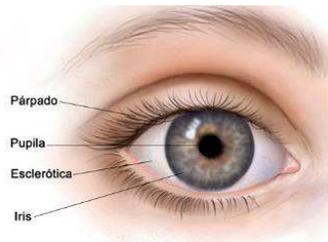


Figura 4. Iris del ojo humano [11].

- **Reconocimiento de huella**

Una huella dactilar normalmente está conformada por una serie de líneas oscuras que representan las crestas y una serie de espacios blancos que representan los valles. Se ha determinado empíricamente que las huellas de gemelos y las huellas de diferentes dedos de una persona son diferentes. Además, desde hace más de un siglo, se ha demostrado que es una tecnología altamente confiable, incluso basándose en datos de más de 50 millones de usuarios. La identificación con huellas dactilares está basada principalmente en la ubicación y dirección de las terminaciones de bifurcaciones, deltas, valles y crestas. El reconocimiento de huella es una tecnología útil en aplicaciones forenses, así como en aplicaciones civiles y de máxima seguridad [8], [9]. En la Figura 5 se pueden observar las principales líneas de una huella dactilar.



Figura 5. Líneas de una huella dactilar [9].

- **Reconocimiento de voz**

El reconocimiento de voz de una persona utiliza la información dada por las ondas de sonido emitidas. Se ha podido comprobar que los patrones con que una persona dice una palabra son únicos. En general, los sistemas de reconocimiento de voz tienen dos módulos principales: extracción de características y comparación de características.

La extracción de las características consiste en la digitalización de diferentes palabras de una persona. Cada palabra se descompone en segmentos, de los cuales se obtienen 3 o 4 tonos dominantes que son capturados en forma digital y almacenados en una tabla o espectro, que se conoce con el nombre de plantilla de la voz. La comparación de características involucra el proceso de identificar a la persona desconocida comparando las características extraídas de su voz, con las previamente obtenidas, que corresponden a las personas conocidas por el sistema [9]. En la Figura 6 se muestra el espectro de la voz humana.

De las anteriores tecnologías, se elige para el desarrollo del proyecto la identificación biométrica por huella dactilar y la identificación por contraseña. A continuación, se explican los conceptos relacionados a esto.

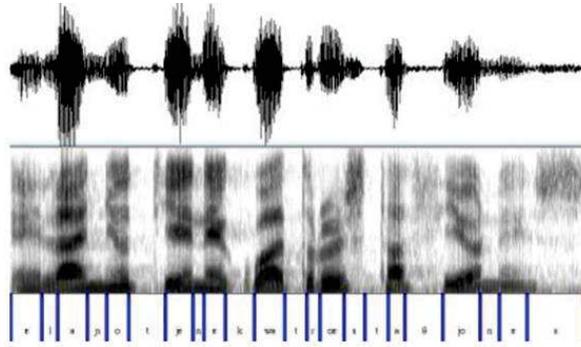


Figura 6. Espectro de la voz humana [9].

### 2.3 Sensor

Es un dispositivo que está diseñado para recibir y transformar información. Un sensor detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc. y la transmite adecuadamente. Son dispositivos que nos permiten interactuar con el entorno, de forma que nos proporcionan información de ciertas variables que nos rodean para poder procesarlas y así generar órdenes o activar procesos [12].

#### 2.3.1. Sensor de huella dactilar

Las imágenes en un sensor de huella se obtienen mediante la adquisición directa de la huella dactilar al colocar el dedo sobre la superficie sensible del sensor electrónico. Un sensor de huella dactilar lleva a cabo dos tareas: obtener una imagen de la huella y convertirla a una imagen digital y comparar el patrón de valles y crestas de dicha imagen con los patrones de las huellas que tiene almacenadas dentro del sensor. Dependiendo de los principios físicos de funcionamiento del sensor utilizado, se establece la siguiente clasificación de los sensores [13], [14].

- **Sensores de huella ópticos**

Este tipo de sensores se basa en la reflexión de la luz sobre la yema de dedo. En el momento en el que el dedo se apoya sobre la superficie de cristal del sensor (prisma), un diodo LED proyecta un haz de luz difusa por debajo del cristal. La luz que atraviesa el prisma incide sobre las crestas de la huella y se dispersa, reflejándose de manera aleatoria en múltiples direcciones. La luz que incide en el interior de la estructura de crestas (valles) se refleja en una determinada dirección (reflexión total). Esta luz direccional es focalizada mediante un sistema de lentes hacia un dispositivo CCD o CMOS, capturándose así la imagen de la huella dactilar [14]. En la Figura 7 se muestra la tecnología interna del sensor de huellas óptico y un sensor óptico comercial.

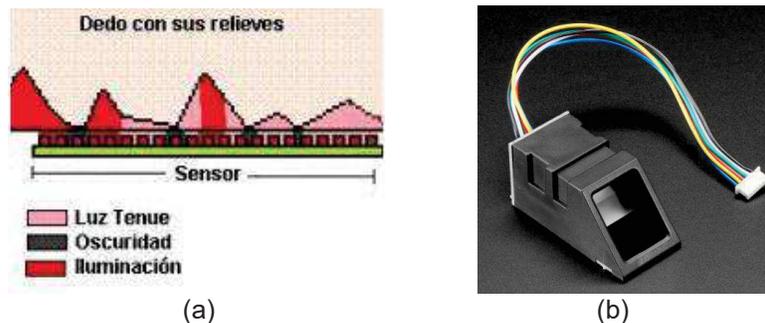


Figura 7. Sensor de huella óptico. (a) Funcionamiento interno del sensor óptico. (b) Sensor óptico comercial. [13], [15].

- **Sensores de huella capacitivos**

Estos dispositivos se forman por la distribución de un conjunto de microcapacitores en una superficie plana, sobre la cual se extiende un dieléctrico. Todas las placas conductoras a un lado del dieléctrico forman eléctricamente el mismo punto. Las placas necesarias para completar los capacitores aparecen al otro lado del dieléctrico cuando se coloca el dedo sobre la superficie. La superficie en contacto con el dedo necesita de una fina capa protectora con toma de tierra, resistente a la abrasión y a las posibles descargas electrostáticas de la piel. Estos sensores permiten el ajuste de algunos parámetros eléctricos con el fin de mejorar la calidad de la imagen adquirida cuando las condiciones de la piel no son las ideales (piel seca o húmeda). Presentan el inconveniente de que deben limpiarse a menudo, ya que la grasa y la suciedad empeoran la calidad de la imagen [14]. En la Figura 8 se observa el funcionamiento de un lector capacitivo y un ejemplo de sensor comercial.

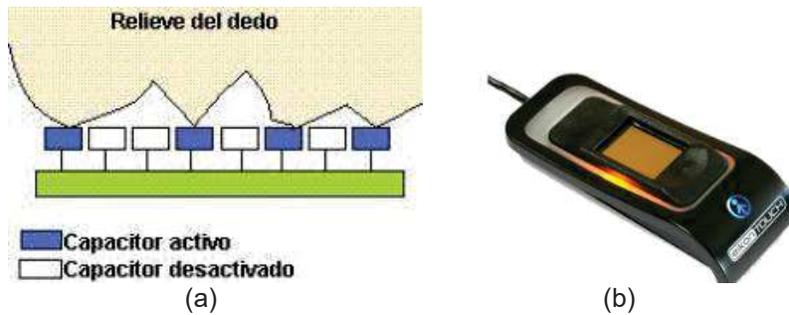


Figura 8. Sensor de huella capacitivo. (a) Funcionamiento del lector capacitivo. (b) Lector capacitivo comercial. [13], [16].

#### 2.4 Teclado matricial

El teclado matricial es un simple arreglo de botones conectados en filas y columnas. Un teclado matricial 4x4 ocupa 4 líneas para las filas y otras 4 líneas para las columnas. Lo que permite leer 16 teclas utilizando solo 8 líneas de un microcontrolador [17]. En la Figura 9 se observa la arquitectura interna de un teclado matricial, así como su apariencia comercial.

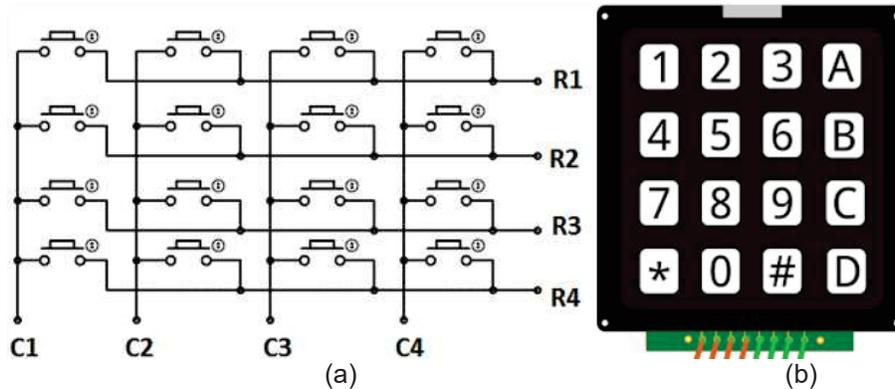


Figura 9. Arquitectura del teclado matricial. (a) Conexiones internas. (b) Teclado matricial comercial. [18].

Para manejar un teclado matricial con un microcontrolador, es necesario manipular las filas y columnas de dicho teclado. Se considera las terminales de columna C1, C2, C3 y C4, como las terminales de entrada al teclado, y las terminales R1, R2, R3 y R4 como las de salida. Para saber que tecla ha sido oprimida, se utiliza la técnica de “barrido”. En esta técnica, se envía a la entrada, una secuencia lógica conocida. En las terminales de salida, se puede leer ciertos valores lógicos, los cuales, al combinarlos con la secuencia de entrada, se puede saber cuál fue la tecla presionada.



## 2.5 Pantalla LCD

Las siglas LCD significan ("Liquid Cristal Display") o pantalla de cristal líquido. Es una pantalla plana desarrollada por Pierre-Gilles de Gennes, basada en el uso de una sustancia líquida atrapada entre 2 placas de vidrio, haciendo que, al aplicar una corriente eléctrica a una zona específica, esta se vuelva opaca y contraste con la iluminación trasera. Este principio es aplicado, pero con ciertas modificaciones (ya que se utilizan 3 colores básicos para generar la gama de colores), lo cual permite la visualización de imágenes [19].

Las pantallas de cristal líquido tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo electrónico de una forma fácil y económica [20].

La Figura 10 muestra el funcionamiento interno de una pantalla LCD, así como una LCD comercial.

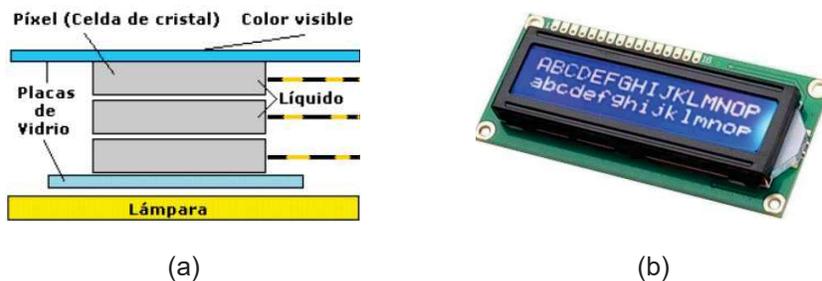


Figura 10. Pantalla LCD. (a) Funcionamiento interno. (b) LCD comercial. [19], [21]

## 3. Metodología

La metodología empleada en el desarrollo del presente proyecto, se muestra en la Figura 11. A continuación, se describirá y detallará cada una de las etapas seguidas en la metodología.

### 3.1 Análisis de requerimientos y soluciones

El proceso comienza al realizar un análisis de los requerimientos, es decir, en plantear las necesidades y los alcances del proyecto, así como los objetivos que se espera cumplir al terminar el desarrollo del prototipo. También, se busca la documentación relacionada con el tema del proyecto y se comienza con la escritura de la tesis. Además, se hace una selección y análisis de los recursos que se pueden utilizar para alcanzar los objetivos, se estudian las tecnologías de reconocimiento de personas y se escogen las más factibles.

Los requerimientos establecidos son:

- Cada usuario tiene un medio de autenticación, ya sea por huella digital o contraseña numérica.
- Si se reconoce a un usuario permitido, el sistema le da acceso, de lo contrario, el proceso de verificación vuelve a comenzar.
- La información, tanto de huellas o contraseñas, debe almacenarse en un medio no volátil.
- Visualizar en una pantalla LCD el estatus, como interfaz de usuario.
- Tener un modo administrador para poder agregar y borrar usuarios.





### **3.3 Teclado matricial**

Se realiza la técnica de barrido para utilizar el microcontrolador PIC18F46K22 con el teclado matricial. Se implementa el código en lenguaje C para obtener el valor correcto de la tecla presionada.

### **3.4 Memoria EEPROM**

Se investiga el funcionamiento de la memoria EEPROM interna del microcontrolador PIC18F46K22, tanto para leer como para escribir en ella, se realizan las secuencias a seguir para almacenar la contraseña de un nuevo usuario, para cambiar la contraseña de administrador, así como para hacer una búsqueda de las contraseñas guardadas en la memoria EEPROM y evitar que un nuevo usuario use una clave ya establecida.

### **3.5 Lector de huella digital**

Primeramente, se busca un modelo de sensor de huella, por su facilidad de encontrarse en el mercado, se elige un sensor óptico. Este sensor funciona con comunicación UART asíncrona, lo primero es leer la hoja de especificaciones y entender la secuencia de comandos necesarios para agregar una huella. Se prueba el funcionamiento del sensor mediante una terminal y un módulo convertidor USB a serial TTL, para corroborar la velocidad de transmisión del sensor, así como los comandos básicos. Una vez comprobado el correcto desempeño del sensor, se trabaja con un Arduino UNO, ya que para esta tarjeta de desarrollo existe una librería predeterminada y algunos ejemplos de códigos para el uso del sensor de huella óptico.

Ya hecho lo anterior, se realiza el código en lenguaje C, creando las funciones necesarias para la correcta interacción del microcontrolador PIC18F46K22 y el sensor.

### **3.6 Pantalla LCD**

Para la comunicación del usuario con el sistema, se usa una pantalla LCD, en la cual se exhiben mensajes que permiten interactuar con la funcionalidad del prototipo. Para lo anterior, se hace uso de la librería LCD.c para microcontroladores PIC. Para mandar imprimir un texto en la LCD, se manda llamar primeramente la función `lcd_gotoxy(x,y)`, donde 'x' y 'y' son las coordenadas donde se va a desplegar el texto y la función `printf(lcd_putc,"TEXTO")` para poder visualizar el texto que deseamos (ya sea un carácter o el valor de alguna variable que se quiera exhibir).

### **3.7 Cerradura eléctrica**

Se buscan opciones en el mercado de cerraduras eléctricas, se encuentra una chapa de tipo solenoide.

### **3.8 Integración**

Todos los módulos que componen el proyecto se realizan por separado, al final se hace una integración de los códigos. Para su fácil manejo, todo se realiza con base en funciones y rutinas.

La Tabla 2 muestra los pasos que sigue el sistema para su funcionamiento general. En la Figura 12 se puede observar un diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control de acceso.

Se realiza el diseño del esquemático con todos los componentes necesarios para posteriormente, diseñar la tarjeta PCB. En la Figura 13, se presenta el diagrama electrónico del sistema de control de acceso.

Los diagramas de flujo mostrados en esta sección, son realizados en una herramienta virtual llamada Visual Paradigm Online Diagrams.

**Tabla 2. Algoritmo para el funcionamiento general del sistema**



Paso	Descripción
1.	¿Hay dedo en el sensor? Sí: Ir al paso 2. No: Ir al paso 4.
2.	Se ejecuta la función de Reconocer Usuario por Huella.
3.	¿Se reconoció la huella? Sí: Ir al paso 10. No: Ir al paso 1.
4.	Se ejecuta la función de Teclado Matricial.
5.	¿Se presionó tecla? Sí: Ir al paso 8. No: Ir al paso 1.
6.	¿El valor de la tecla está entre 0 y 9? Sí: Ir al paso 7. No: Ir al paso 9.
7.	Se ejecuta la función Leer el Resto de la Contraseña.
8.	¿Se reconoció la contraseña? Sí: Ir al paso 10. No: Ir al paso 1.
9.	Se ejecuta la función Funciones de Administrador. Ir al paso 1.
10.	Imprimir mensaje "Reconocimiento correcto".
11.	Se ejecuta la función de Acceso Correcto.

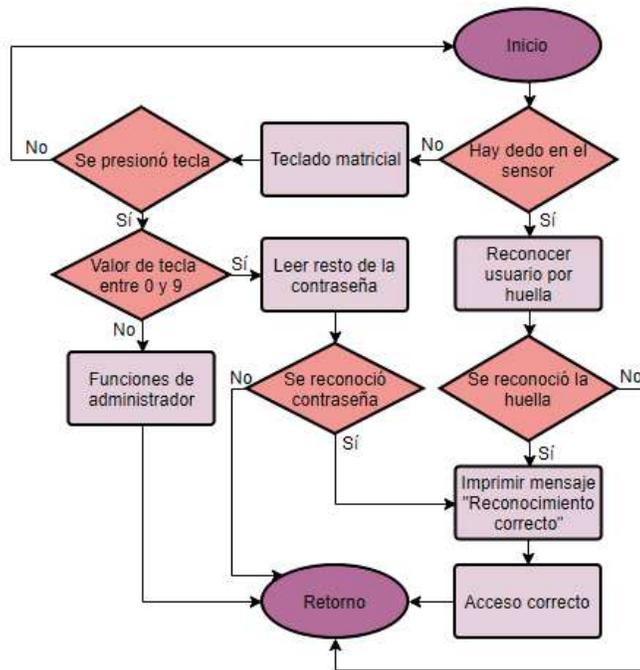
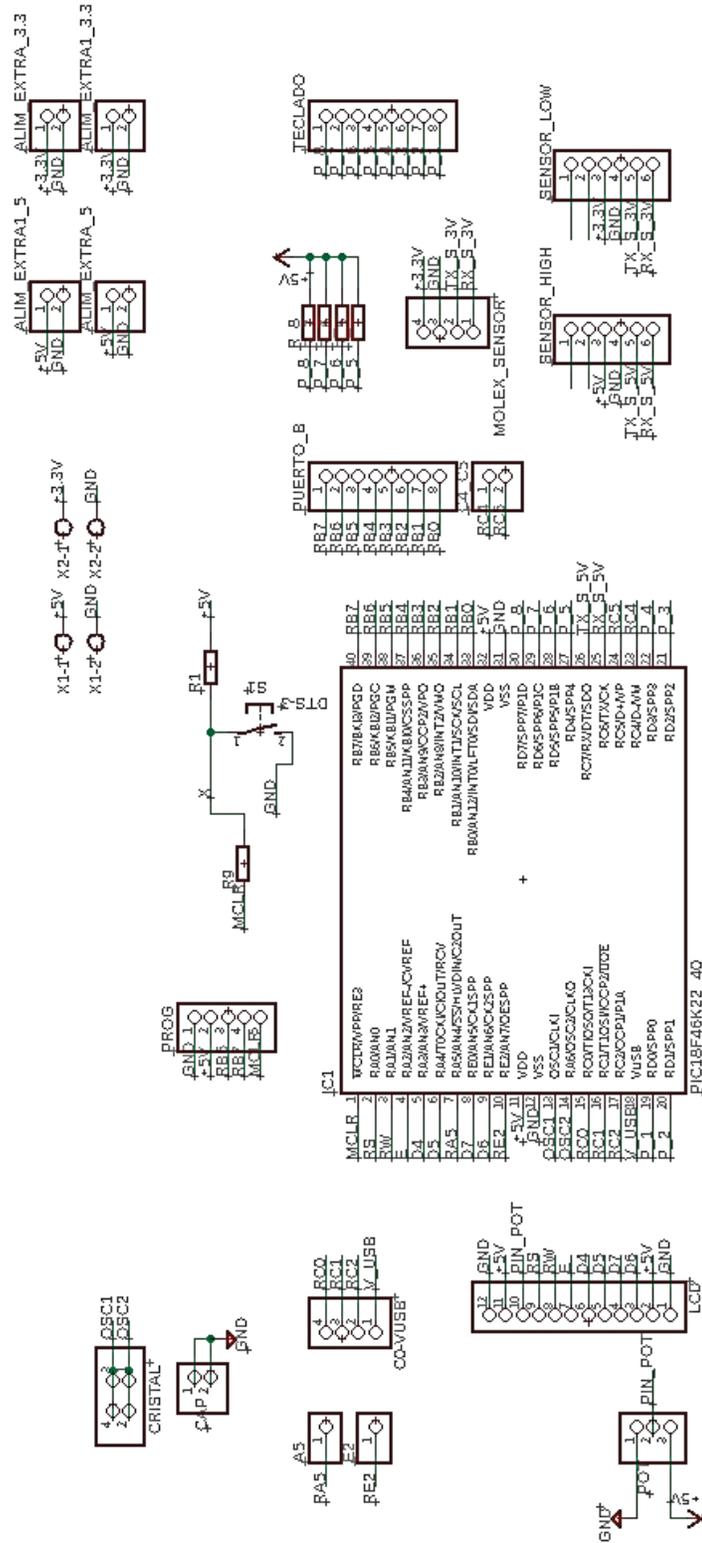


Figura 12. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de control de acceso.

### 3.9 Análisis de resultados

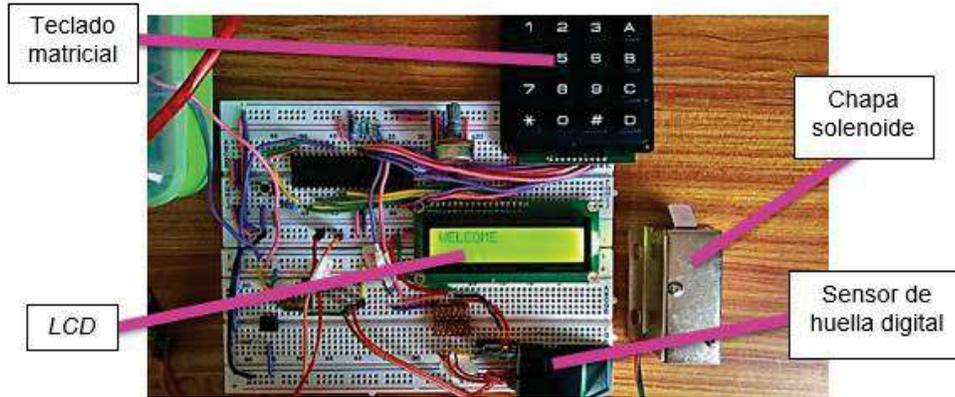
Se analizan los resultados obtenidos y se realiza una comparación entre dichos resultados y el planteamiento inicial de los requerimientos. Si estos objetivos se satisfacen, entonces el proceso de la metodología finaliza, si pasa lo contrario, es decir, aun no se cumplen los objetivos, se vuelve a iniciar el ciclo para mejorar aquellas partes que no se han cubierto totalmente o eliminar las posibles causas que eviten el correcto desempeño del prototipo.





Una vez integrados los códigos que resuelven los problemas por separado, y que se mencionan en los puntos 3.3 a 3.7, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Al momento, se tiene un prototipo de un sistema de control de acceso capaz de identificar un usuario permitido, ya sea por huella digital o por contraseña numérica que se ingresa en un teclado. En la Figura 29 se muestran las partes principales del sistema.



**Figura 14. Componentes principales del sistema**

A continuación se enlista en una tabla las diferentes funcionalidades y las teclas que corresponden para acceder a ellas.

**Tabla 3. Funcionalidades del prototipo**

Tecla	Función
A	Añadir un usuario
B	Cambiar contraseña maestra
C	Borrar un usuario por ID
D	Borrar todo
#	Número de usuarios registrados
*	Cancelar operación

#### **4.1 Contraseña de administrador**

El prototipo cuenta con una contraseña maestra que sirve al administrador para realizar cualquier cambio en el sistema, como registrar un usuario, eliminar un usuario, conocer el número de usuarios registrados o restaurar el sistema a su configuración de fábrica. La clave maestra por defecto es 1234, pero se puede cambiar en cualquier momento. Para cambiarla, en el menú principal se presiona la tecla “B”, el sistema pide la contraseña de administrador actual para poder realizar el cambio de contraseña. Una vez que el administrador ingresa la nueva contraseña, se imprime el mensaje de “Contraseña maestra actualizada”. En la Figura 30 podemos ver el proceso para cambiar la contraseña maestra.



Figura 15. Proceso para cambiar la contraseña maestra

#### 4.2 Agregar usuarios

Para agregar un usuario, ya sea por huella digital o por contraseña, el administrador debe presionar la letra "A", posteriormente se pide la clave maestra. Una vez en el menú de Agregar Usuarios, se le pregunta al administrador el método por el cual desea agregar el usuario. En la Figura 31 se observa la vista del menú para agregar usuarios.



Figura 16. Menú para agregar usuarios

##### 4.2.1. Agregar usuarios por contraseña

Si en el menú Agregar Usuarios, el administrador elige "agregar usuario por contraseña", se le pide al nuevo usuario que establezca una contraseña. El sistema busca en su base de datos las contraseñas ya almacenadas para evitar que alguna se repita, si la contraseña es correcta, se muestra el mensaje "contraseña almacenada" y también se visualiza el número total de contraseñas almacenadas. Lo anterior se puede ver en la Figura 32.

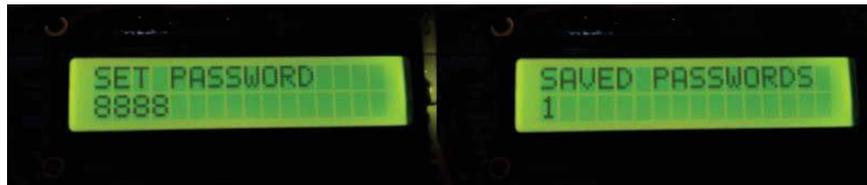


Figura 17. Proceso de agregar un usuario por contraseña

##### 4.2.2. Agregar usuarios por huella digital

Cuando el administrador escoge la opción de agregar un usuario por huella digital en el menú Agregar Usuarios, se comienza con un proceso, en el que es necesario colocar el dedo dos veces sobre el sensor, en la LCD se van mostrando los mensajes con las instrucciones. Al final se muestra el número de identificación asignado al nuevo usuario. El proceso se observa en la Figura 33.

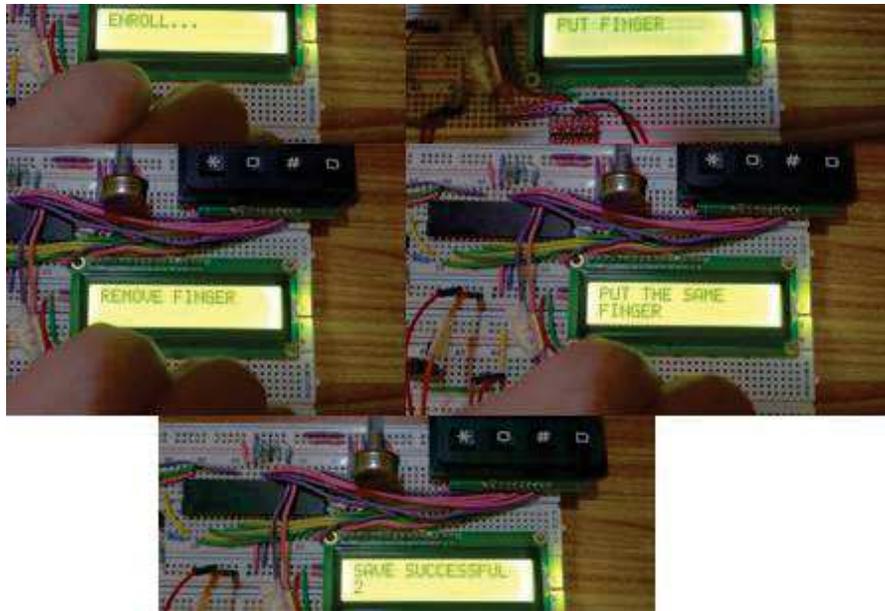


Figura 18. Proceso para agregar un usuario por huella digital

#### 4.3 Borrar usuarios

El sistema tiene la opción de eliminar un usuario utilizando el ID con el que se registró, ya sea por contraseña o por huella digital, para lo anterior, desde el menú principal se presiona la letra “C”. Como en todas las funcionalidades, se le pide al administrador la clave maestra, luego se muestra un menú en el que se puede elegir entre eliminar un usuario por huella digital o por contraseña. Luego, se solicita el número de ID que se eliminará. Finalmente se muestra en la pantalla LCD un mensaje que indica el estatus. Podemos ver esto en la Figura 34.



Figura 19. Borrar un usuario por ID

#### 4.4 Borrar todo

El prototipo cuenta con la opción de eliminar todo, tanto los usuarios por huella digital y contraseña, así como la actualización de la contraseña maestra. Es decir, con esta opción, el sistema se restaura a la configuración de fábrica. Dentro del menú principal, se presiona la tecla “D”, después, se le solicita al administrador la contraseña maestra y se le pregunta si desea eliminar todo. Al final, se imprime un mensaje en la pantalla LCD, indicando si la operación se realiza con éxito. El proceso se muestra en la Figura 35.

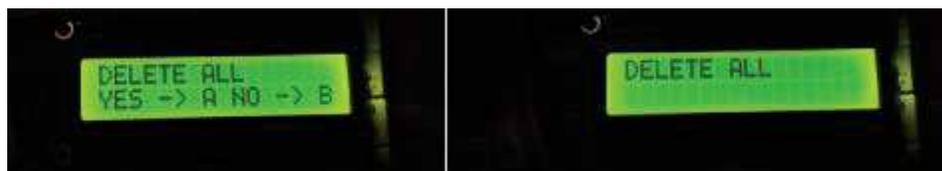


Figura 20. Proceso de borrar todo

#### **4.5 Número de usuarios registrados**

Este prototipo tiene la opción de que el administrador pueda ver cuántos usuarios por huella digital o contraseña están registrados. Para eso, se presiona la tecla "#", se le pide al administrador la clave maestra, luego se muestra el número de usuarios registrados en la pantalla LCD. Un ejemplo de esto se observa en la Figura 36.



Figura 21. Ejemplo de número de usuarios registrados

#### **4.6 Identificación de usuario por contraseña**

El teclado se usa para que el usuario introduzca su contraseña. La contraseña se almacena en 2 bytes. Por la cantidad de memoria que tiene el microcontrolador PIC18F46K22, se pueden almacenar hasta 500 contraseñas de usuario. En cambio, si se usa el PIC18F4550, se puede almacenar hasta 120 contraseñas.

La Figura 37 muestra una foto del sistema, donde se introduce la contraseña, y posteriormente se indica si se reconoció correctamente el usuario o no.

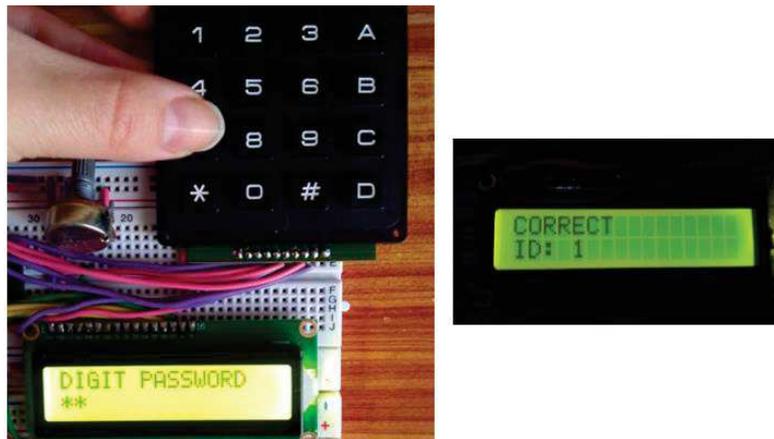


Figura 22. Ejemplo de un acceso mediante contraseña

#### **4.7 Identificación de usuario por huella digital**

El sensor de huella digital se usa para que el usuario registrado con acceso mediante reconocimiento de huella digital coloque su dedo sobre él por unos cuantos segundos. El sistema puede almacenar hasta 150 huellas digitales. En la Figura 38 se muestra el ejemplo de un acceso por huella digital.

#### **4.8 Placa PCB**

A continuación, se muestra en la Figura 39 la placa PCB del prototipo del sistema de control de acceso.

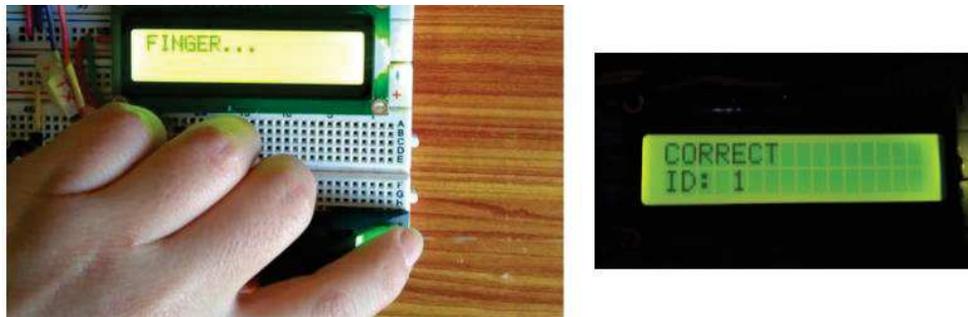


Figura 23. Ejemplo de un acceso por huella digital

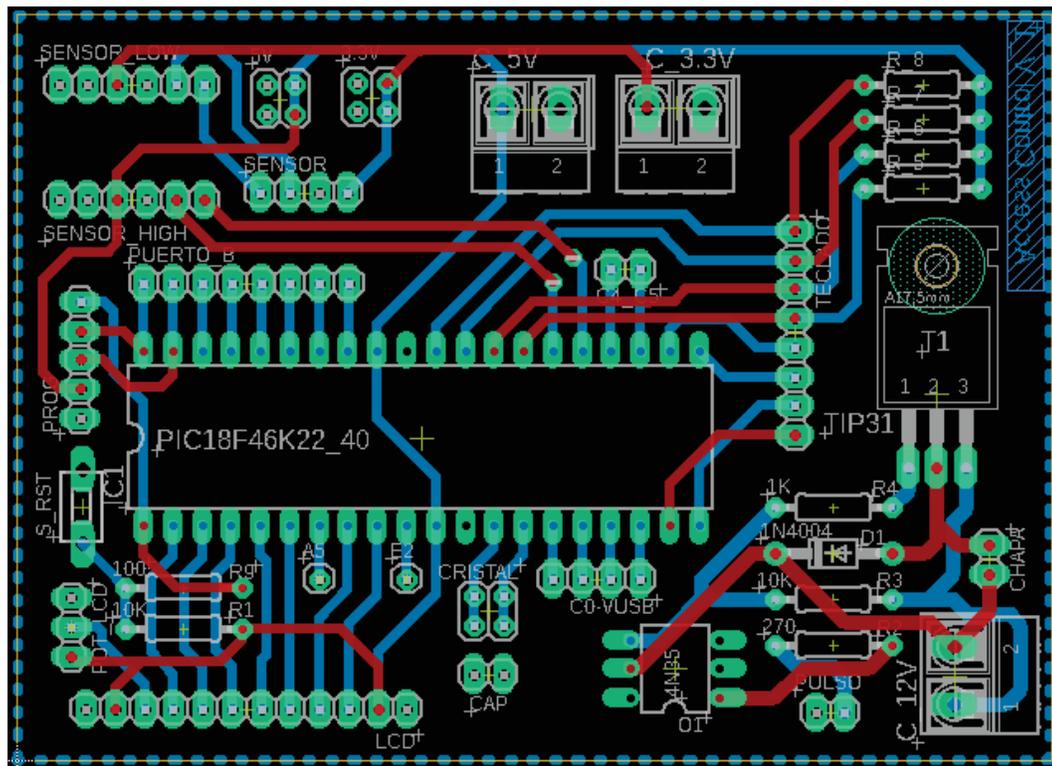


Figura 24. Diseño de placa PCB.

## 5. Conclusiones

El proyecto consiste en un sistema de seguridad para el control de acceso, diseñado para controlar el acceso de los usuarios a cualquier área. Este sistema puede reconocer a los usuarios mediante una contraseña numérica que consta de 4 dígitos, o mediante el reconocimiento de la huella digital.

Los objetivos establecidos al principio, están cubiertos en un 90%, ya que existe un prototipo de sistema de control de acceso funcional al 100%. Las mejoras que se pueden lograr en el prototipo tienen que ver con la interfaz de comunicación. Otro punto que debe cubrirse es diseñar una caja para que el prototipo se instale formalmente en una puerta.



Por otro lado, una característica muy particular del sistema es que no pierde información debido a interrupciones en la electricidad. Es un proyecto de alto impacto porque con su uso, los robos pueden reducirse en el lugar donde sea instalado.

El sistema ha sido probado y se encuentra que puede almacenar un total de 150 usuarios con una huella digital y hasta 500 usuarios con una contraseña numérica. Se prueba que el sistema no pierde información de huellas digitales o contraseñas cuando se desconecta de la alimentación eléctrica y que la etapa de alimentación funciona perfectamente con la chapa solenoide.

Este sistema de control de acceso se diseña con la idea de que es posible agregar otra tecnología de control de acceso, como lo podría ser la tecnología RFID. También es posible adaptarlo a las necesidades de futuros clientes y mejorar la interfaz de comunicación con el usuario.

## Referencias

- [1] Vergara, V., y Verónica, Z. (2013). Sistema de Control de acceso y monitoreo con la tecnología RFID para el departamento de Sistemas de la universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil (Bachelor's thesis).
- [2] Chuqui Chicaiza, L. M. (2014). Diseño e implementación de un sistema de control de asistencia de personal, mediante el uso de tecnología biométrica de huella dactilar (Bachelor's thesis, Quito: EPN, 2014.).
- [3] Oke, A. O., Olaniyi, O. M., Arulogun, O. T. y Olaniyan, O. M. (2009). Development of a microcontroller-controlled security door system. *The Pacific Journal of Science and Technology*, 10(2), 398-403.
- [4] Vega-Luna, J. I., Cosme-Aceves, J. F., Sánchez-Rangel, F. J. y Salgado-Guzmán, G. (2018). Control de Acceso Usando RFiD y una Tarjeta Raspberry Pi Zero W.
- [5] Valdés, F. y Areny, R. P. (2007). *Microcontroladores fundamentos y aplicaciones con PIC* (Vol. 1149). Marcombo.
- [6] Torriti, M. T. (2007). Tutorial Microcontroladores PIC. Pontificia Universidad Católica de Chile, (1.0), 3.
- [7] Ocas Quiroz, C. E., Pedro, S. y Jonatan, E. (2019). Sistema de seguridad para el control de acceso a una vivienda mediante el reconocimiento de voz utilizando coeficientes cepstrum MFCC Y DTW.
- [8] Serratos, F. (2012). *La biometría para la identificación de las personas*. Editorial UOC. España.
- [9] Osorio, J. A. C., Aguirre, F. A. M. y Escobar, J. A. M. (2010). Sistemas de seguridad basados en Biometría. *Scientia et technica*, 17(46), 98-102.
- [10] Serban (s.f.). Biometría facial: El sistema de reconocimiento mediante el rostro. Recuperado de <https://www.serban.es/biometria-facial-el-sistema-de-reconocimiento-mediante-el-rostro/>.
- [11] Instituto Nacional del cáncer (NIH) (s.f.). Definición de iris. Recuperado de <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/iris>.
- [12] Serna, A., Ros, F. y Rico, J. C. (2010). Guía práctica de sensores. Creaciones Copyright SL.
- [13] Chulde, c. y javier, k. (2017). Diseño e implementación de un sistema de comunicaciones unificadas basado en software libre que integra capacidades de voz sobre ip, mensajería instantánea, fax, mail, pbx y un subsistema de registro de asistencia y desbloqueo de cerradura por huella dactilar para la empresa vuelofertas cia. Ltda (bachelor's thesis, quito: universidad israel, 2017).
- [14] López García, J. (2009). Algoritmo para la identificación de personas basado en huellas dactilares.
- [15] Adafruit (s.f.). Fingerprint sensor. Recuperado de <https://www.adafruit.com/product/751>.
- [16] Ratio Technologies (s.f.) Lector de huellas dactilares capacitivos USB 2.0. Recuperado de [http://www.ratiotechnologies.com/pages/DP\\_Eikon710.aspx](http://www.ratiotechnologies.com/pages/DP_Eikon710.aspx).
- [17] Topón Guallichico, J. M. (2017). Diseño e implementación de un prototipo para un sistema electrónico temporizado en puertas y ventanas, empleando módulos Arduino, para el restaurante "El Pailón de Mushuñan" (Bachelor's thesis, Quito, 2017.).



- [18] Arduino para todos (2017). Teclado matricial con Arduino. Varios ejemplos. Recuperado de <http://arduparatodos.blogspot.com/2017/12/teclado-matricial-con-arduino-varios.html>.
- [19] Informática Moderna (s.f.). Pantalla LCD. Recuperado de [http://www.informaticamoderna.com/Pantalla\\_LCD.htm](http://www.informaticamoderna.com/Pantalla_LCD.htm).
- [20] Zambrano, A. A., Ulloa, H. C. y Valdiviezo, C. (s.f.). Medidor LC Utilizando Pantalla LCD 2x16 para Visualización con Programa Embebido en un Microcontrolador.
- [21] Nomada Store (s.f.). Pantalla LCD. Recuperado de <https://nomada-e.com/store/interfaces/128-lcd-alfanumerica-16x2.html>.

## **Ingeniería Mecatrónica Aplicada**

Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C.  
Prolongación Corregidora Norte No. 168, interior E  
Col. El Cerrito, C.P. 76160, Querétaro, Qro.  
Distribución en formato digital por internet,  
formato: PDF, tiraje: 1000, pp. 92, Tamaño: 7 Mb.

ISBN: 978-607-9394-21-9

# Ingeniería mecatrónica aplicada

ISBN: 978-607-9394-21-9



9 786079 394219

